

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-097616

(43)Date of publication of application : 07.04.2000

(51)Int.Cl.

G01B 9/02

(21)Application number : 10-268794

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 22.09.1998

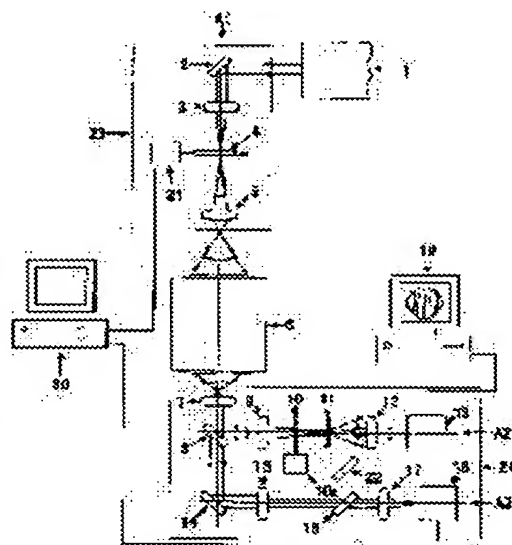
(72)Inventor :
BRUCE JACOBSEN
GENMA TAKASHI
SUZUKI JUN
NAGAYAMA TADASHI

(54) INTERFEROMETER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To permit the highly accurate measurement of wavefront aberration even of an optical system using a light source with extremely short coherence length by bringing the first beam of light diffracted by the second pinhole into interference with the second beam of light.

SOLUTION: Quasi-monochromatic light emitted from the same light source 1 as an exposure light source is transmitted through a mirror 2, a beam expander, etc., and is converged on a pinhole 4 by a converging lens 3. The light diffracted by the pinhole 4 becomes ideal spherical waves and becomes incident onto a test optical system 6 as measuring light. The measuring light is transmitted through the test optical system 6, converged on the location of the image surface of the test optical system 6, magnified, and brought into forming an image on a mask 11 via the first objective lens 7, a half mirror 8, and the second objective lens 9. A diffraction grating 10 is arranged between the mask 11 and the second objective lens 9 to divide the measuring light into a plurality of beams of diffracted light. A reference wavefront and a surface to be inspected are superimposed to an image pickup device 13 by a lens 12 to form interference fringes. The image of the interference fringes is analyzed by a computer 19 to obtain the wavefront aberration of the test optical system 6.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-97616

(P 2 0 0 0 - 9 7 6 1 6 A)

(43) 公開日 平成12年4月7日 (2000.4.7)

(51) Int. Cl. ⁷
G01B 9/02

識別記号

F I
G01B 9/02

テーマコード (参考)
2F064

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全13頁)

(21) 出願番号 特願平10-268794

(22) 出願日 平成10年9月22日 (1998.9.22)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 ブルース ジェイコブセン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 玄間 隆志

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 鈴木 順

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

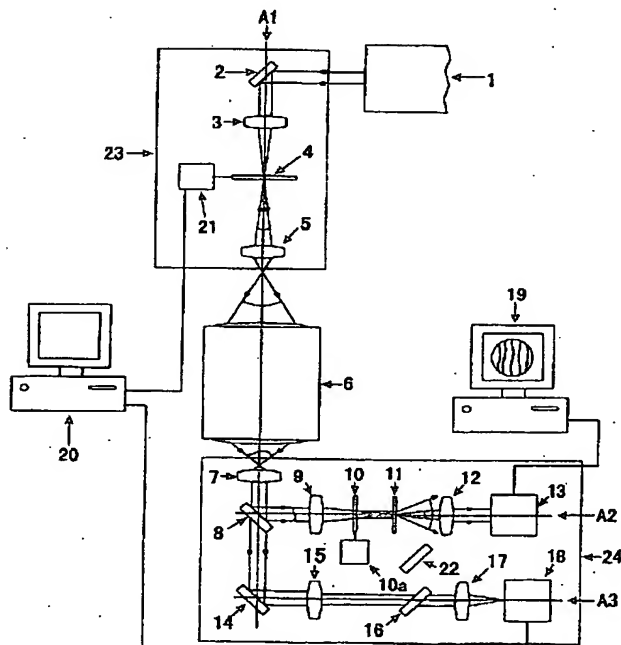
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 干渉計

(57) 【要約】

【課題】 コヒーレンス長が非常に短い光源を使用する光学系であっても、高い測定精度で波面収差を測定することのできる干渉計を提供する。

【解決手段】 光源から放射された光束を用いて、被検光学系の波面収差を測定するための干渉計において、前記光源からの光束を球面波に変換する第1のピンホールを有し、前記球面波を前記被検光学系に入射させる第一光学手段と、前記被検光学系からの出射光束を、少なくとも第1及び第2の光束に分割する第二光学手段と、前記ピンホールとは異なる第2のピンホールを有し、前記第1の光束を、前記第2のピンホールで回折させる第三光学手段と、を有し、前記第2のピンホールで回折させられた前記第1の光束と、前記第2の光束と、を干渉させることによって、干渉縞を得ることを特徴とする干渉計。



【特許請求の範囲】

【請求項1】光源から放射された光束を用いて、被検光学系の波面収差を測定するための干渉計において、前記光源からの光束を球面波に変換する第1のピンホールを有し、前記球面波を前記被検光学系に入射させる第一光学手段と、

前記被検光学系からの出射光束を、少なくとも第1及び第2の光束に分割する第二光学手段と、

前記ピンホールとは異なる第2のピンホールを有し、前記第1の光束を、前記第2のピンホールで回折させる第三光学手段と、を有し、

前記第2のピンホールで回折させられた前記第1の光束と、前記第2の光束と、を干渉させることによって、干渉縞を得ることを特徴とする干渉計。

【請求項2】前記第一光学手段は、前記被検光学系の物体面位置側に配置され、

前記第三光学手段は、前記被検光学系の像面位置側に配置されることを特徴とする請求項1記載の干渉計。

【請求項3】前記第二光学手段は、回折格子を含むことを特徴とする請求項1又は2記載の干渉計。

【請求項4】前記回折格子は、光軸に垂直な方向に移動可能であることを特徴とする請求項3記載の干渉計。

【請求項5】前記第二光学手段は、拡大結像光学系を含むことを特徴とする請求項1乃至4記載の干渉計。

【請求項6】前記第三光学手段は、前記第2のピンホールの他に、前記第2の光束のみを透過させるウインドウを設けられた板を有することを特徴とする請求項1乃至5記載の干渉計。

【請求項7】前記第一光学手段の前記第1のピンホールの直径 ϕ が、測定波長を λ 、被検レンズの入射側開口数をNA、第一光学手段の倍率を m としたときに、 $\lambda/2 < \phi < \lambda/(m \cdot NA)$

の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至6記載の干渉計。

【請求項8】前記第一光学手段の光路中に集光点があり、該集光点に第3のピンホールを挿入することを特徴とする請求項1乃至7記載の干渉計。

【請求項9】前記集光点に前記第3のピンホールを挿入したときの波面計測結果を保存する計算機を有していることを特徴とする請求項8記載の干渉計。

【請求項10】前記第三光学手段の光路中に集光点があり、該集光点に第4のピンホールを挿入することを特徴とする請求項1乃至9記載の干渉計。

【請求項11】前記集光点に前記第4のピンホールを挿入したときの波面計測結果を保存する計算機を有していることを特徴とする請求項10記載の干渉計。

【請求項12】前記第一光学手段は、第一ステージ上に設置され、

前記第二光学手段及び第三光学手段は、第二ステージ上に設置されており、

前記第一ステージと前記第二ステージとは、前記被検光学系に対して移動可能であることを特徴とする請求項1乃至11記載の干渉計

【請求項13】前記第一ステージと前記第二ステージとは、連動して移動することを特徴とする請求項12記載の干渉計。

【請求項14】前記第一ステージと第二ステージとの位置を測定するレーザ干渉計を有していることを特徴とする請求項12又は13記載の干渉計。

【請求項15】前記光源のコヒーレンス長は、前記被検光学系の物像間距離の $1/10$ 以下であることを特徴とする請求項1乃至14記載の干渉計。

【請求項16】光源から放射された光束を用いて、被検光学系の波面収差を測定するための干渉計において、前記光源からの光束を球面波に変換するピンホールを有し、前記球面波を前記被検光学系に入射させる第一光学手段と、

前記被検光学系からの出射光束を、反射し、再び前記被検光学系へ戻す反射手段と、

20 前記反射手段からの出射光束を、少なくとも第1及び第2の光束に分割する第二光学手段と、

前記第1の光束を、回折させ、球面波を発生させる第三光学手段と、を有し、前記第三光学手段で回折させられた前記第1の光束と、前記第2の光束と、を干渉させることによって、干渉縞を得ることを特徴とする干渉計。

【請求項17】前記反射手段は、高精度に製作された球面鏡であることを特徴とする請求項16記載の干渉計。

【請求項18】前記ピンホールは、前記第三光学手段の球面波を発生させることも兼ねていることを特徴とする請求項16又は17記載の干渉計。

【請求項19】前記第三光学手段の球面波を発生させる手段は、前記ピンホールと異なるピンホールであることを特徴とする請求項16又は17記載の干渉計。

【請求項20】前記第一光学手段のピンホール及び前記第三光学手段のピンホールは、共に被検光学系の像面位置側に配置されていることを特徴とする請求項18又は19記載の干渉計。

【請求項21】前記第一光学手段のピンホール及び前記第三光学手段のピンホールは、共に被検光学系の物体面位置側に配置されていることを特徴とする請求項18又は19記載の干渉計。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光学系の波面収差を測定するための干渉計に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光学系の波面収差を測定するための装置としては、干渉計を応用したものが従来から知られている。例えば、これらの干渉計は、フィゾー干渉計やトワイマングリーン干渉計であった。また、ピンホールから

の回折光を用いるポイントディフラクション干渉計が、特開昭 57-64139 号公報に公開されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】現在、最も高い波面精度が要求されている光学系の一つとして、半導体露光装置の縮小投影レンズが挙げられる。この縮小投影レンズは、半導体露光装置の露光光源波長に対して波面収差を最適化されているため、波面収差の測定には露光光源を用いることが必要になる。

【0004】しかし、半導体露光装置の露光光源である水銀ランプの i 線や、KrF、ArF、F2 エキシマレーザはコヒーレンス長が非常に短く、フィゾー干渉計を用いて波面収差を計測することが出来ない。一方、トワイマングリーン干渉計では、縮小投影レンズ（被検光学系）を含む測定光路の光路長と参照光路の光路長とを一致させれば、干渉縞を得ることが出来る。しかし、参照光路長は 1m 以上になるため、空気揺らぎなどの外乱の影響を受けてしまい、必要とされている $\lambda/100$ という高い測定精度を実現することは出来ない。

【0005】また、ポイントディフラクション干渉計は、コヒーレンスの高い光源を必要としないため、干渉性の問題はない。しかし、従来例では、被検光学系に入射する波面の精度が悪いことと、波面分割素子（例えば、回折格子）で発生する波面収差のために、高い測定精度を実現できなかった。本発明は、上記問題点に鑑みなされたもので、コヒーレンス長が非常に短い光源を使用する光学系であっても、高い測定精度で波面収差を測定することのできる干渉計を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明では、光源から放射された光束を用いて、被検光学系の波面収差を測定するための干渉計において、前記光源からの光束を球面波に変換する第 1 のピンホールを有し、前記球面波を前記被検光学系に入射させる第一光学手段と、前記被検光学系からの出射光束を、少なくとも第 1 及び第 2 の光束に分割する第二光学手段と、前記ピンホールとは異なる第 2 のピンホールを有し、前記第 1 の光束を、前記第 2 のピンホールで回折させる第三光学手段と、を有し、前記第 2 のピンホールで回折させられた前記第 1 の光束と、前記第 2 の光束と、を干渉させることによって、干渉縞を得ることを特徴とする干渉計を提供する。

【0007】また、光源から放射された光束を用いて、被検光学系の波面収差を測定するための干渉計において、前記光源からの光束を球面波に変換するピンホールを有し、前記球面波を前記被検光学系に入射させる第一光学手段と、前記被検光学系からの出射光束を、反射し、再び前記被検光学系へ戻す反射手段と、前記反射手段からの出射光束を、少なくとも第 1 及び第 2 の光束に

分割する第二光学手段と、前記第 1 の光束を、回折させ、球面波を発生させる第三光学手段と、を有し、前記第三光学手段で回折させられた前記第 1 の光束と、前記第 2 の光束と、を干渉させることによって、干渉縞を得ることを特徴とする干渉計も提供する。

【0008】

【発明の実施の形態】上述の様に、本発明では、ピンホールによって回折した理想的な球面波を被検光学系に入射させることにより、波面測定精度を向上させている。また、測定光路中に新たに較正用ピンホールを挿入して被検光学系以外の光学系で発生している波面収差を測定し、それを減算することにより、測定精度を向上させることを可能にしている。

【0009】また、較正用ピンホールを用いずに高精度球面鏡を用いて、被検光学系以外の光学系で発生している波面収差を較正するための干渉計の構成も考案した。

【0010】

【実施例】〔第一実施例〕第一実施例を、図 1 を用いて説明する。本実施例は、半導体露光装置の縮小投影レンズの波面収差を測定するための干渉計である。つまり、被検光学系を縮小投影レンズとしたときの実施例である。

【0011】半導体露光装置の露光光源と同一の光源 1 から出射した準単色光は、ミラー 2 及び不図示のビームエキスパンダなどを透過した後、集光レンズ 3 によってピンホール 4 上に集光される。ピンホール 4 は、測定光の波長程度の直径の円形開口である。本実施例においては、ピンホール 4 は、クロムなどの金属膜或いは誘電体多層膜からなる薄膜 4a を石英ガラス板 4b の表面に蒸着し、ピンホール 4c をエッチングなどにより薄膜のほぼ中心部に形成することによって製作されている。図 2 は、その拡大図である。

【0012】光源が KrF、ArF、F2 などのエキシマレーザである場合、これらは、パルスレーザであるため、 $10 \sim 20 \text{ nsec}$ という短時間に強いエネルギーを照射する。そのため、ピンホールの材質は、パルスレーザのピークパワーに対して十分に耐久性のあるものでなければならない。ピンホール 4c で回折させた光は、理想的な球面波となり、測定光として被検光学系 6 に入射する。本実施例においては、測定光は、縮小光学系 5 により、被検光学系 6 の物体面位置（通常レチクルが配置される位置）に集光されている。

【0013】測定光は、被検光学系 6 の瞳面をカバーするだけの発散角を持って、被検光学系 6 に入射しなければならない。この条件は、ピンホール 4c の直径を ϕ 、測定波長を λ 、被検レンズ 6 の入射側開口数を NA、縮小光学系 5 の倍率を m としたときに、

$$\phi < \lambda / (m \cdot \text{NA}) \quad (\text{A})$$

と表わすことが出来る。ピンホールの透過率を考慮すると、現実には、

$\lambda/2 < \phi < \lambda / (m \cdot NA)$ (B)
が条件になる。

【0014】被検光学系6を透過後、被検光学系6の像面位置（通常ウェハが配置される位置）に集光した測定光は、第一対物レンズ7、ハーフミラー8、第2対物レンズ9を介してマスク11上に拡大結像される。拡大結像が必要になるのは、被検レンズ6が半導体露光装置用縮小光学系の場合、像面位置に出来る像の大きさが波長オーダーの極めて小さなものになり、拡大結像しないと、後述するマスク・ピンホール11aの製作が困難になるのを防ぐためである。

【0015】マスク11と第2対物レンズ9との間には、回折格子10が設置されており、測定光は複数の回折光に分割される。マスク11は、測定光の波長オーダーの小さなピンホール11aと波長の数十から数百のオーダーの比較的大きいウィンドウ11bとからなる。ピンホール11aとウィンドウ11bとは、測定光の波長の数百倍離れている。図4は、マスク11の拡大図である。本実施例においては、0次回折光がピンホール11aに集光し、1次回折光がウィンドウ11bの中央に集光し、他の回折光はマスク11でカットされるように、回折格子10が形成されている。ピンホール11aで回折された光は、理想的な球面波となり、測定の参照波面として用いられる。一方、ウィンドウ11bを透過した光は、不変であり、被検波面として使われる。

【0016】参照波面と被検波面とは、レンズ12によって撮像素子13に重畳され、干渉縞を形成する。レンズ12は、被検光学系6の瞳面を撮像素子13の検出面上に結像する役目も果している。干渉縞画像はコンピュータ19により解析され、被検光学系6の持つ波面収差が求められる。干渉縞を高精度で解析するために、回折格子10を圧電素子などを用いて光軸に垂直かつ回折格子の直線の向きと垂直な方向に、回折格子の周期の1/4程度ずつ平行にシフトした時の干渉縞画像を複数枚用いる。干渉縞の解析は、縞走査法として公知の処理手順に行われる。

【0017】ここで、被検光学系6の瞳面を照射するためには、通常、広い回折角を持つ小さなピンホールの作成が必要になる。波長オーダーのピンホールの製作は非常に難しい。また、小さなピンホールを用いる場合、撮像素子13で十分な明るさの干渉縞画像を得るためには、非常に強い照射強度でピンホール4aを照明する必要が生じる。前述したクロム膜で形成されたピンホールは、強い光を照射すると膜が破損される恐れがある。

【0018】縮小光学系5は、ピンホールの破損を防ぐためのものである。例えば、縮小倍率を1/10とすると、ピンホールの大きさが10倍になり、製作が容易になるとともに、照射強度は1/100倍になり、ピンホール膜の耐久性の問題も解決される。本実施例のように光源1がパルス光源の場合には、上述のピンホール破損

防止方法以外にも、パルスの分割により光源側ピンホール4aの照射強度のピーク値を下げる方法がある。

【0019】図7を用いて、この実施例を説明する。光源1から出射した光をハーフミラー84で分割する。ハーフミラーの反射率は38%、透過率は62%程度が望ましい。ハーフミラー84で反射した光に比べて、ハーフミラー84を透過してプリズムミラー85a、85b及び85cで反射した後ハーフミラーを透過してきた光束は、時間的に遅延している。遅延時間t1は、このループの光路長L1を光速cで割った値になる。遅延時間t1は、光源1のパルス持続時間よりも長くなるように選ばなくてはならない。レンズ90は、ビームの断面内での強度分布や波長分布が一致しない場合に、それらを平均化するための光学系である。これにより、ループを通過したビームは、上下左右が反転されている。

【0020】第2ループは更に大きな光路長L2を持ち、ループを一回転する毎にビームがシフトするようにハーフミラー86とプリズムミラー87a、87b及び87cとが配置されている。第2ループによる遅延時間t2はL2/cであり、ループを1回回転する毎にt2だけ遅れたパルスが得られる。t2はt1よりも大きな値になるように選ぶ。

【0021】これらの光学系を用いた場合のパルス変化の様子を、図8に示す。パルスの持続時間を伸ばすことと同等の効果が選られ、ピークパワーが減少していることがわかる。ピンホール膜の破壊に寄与するのはパルスのピークパワーであるので、このループ光学系はピンホールの耐久性向上に大きな効果をもたらした。尚、このループ光学系は光源1とミラー2の間に挿入されている。

【0022】前述までの測定方法では、被検波面は光源側ピンホール4aと検出側ピンホール11aの間のすべての光学系の収差の影響を受けている。具体的には、測定結果W0は、縮小光学系5の波面収差Wrと被検光学系6の波面収差Wtと第一対物レンズ7から回折格子10までからなる検出光学系の波面収差Wpとの和で表される。

$$W0 = Wr + Wt + Wp \quad (1)$$

縮小光学系5の波面収差Wr及び検出光学系の波面収差Wpは、極力小さくすることが望ましい。そのため、これらの光学系は、均質性のよい材料を用いて高精度に製作されている。被検光学系6が半導体露光装置用縮小光学系である場合には、波面収差測定の要求精度はきわめて高く、WrとWpとの影響を無視することが出来ない。そこで、これらの影響を取り除く方法を、図5及び図6を用いて説明する。

【0024】まず、検出光学系の波面収差Wpを測定する方法について説明する。使用光の波長オーダーの直径を持つ開口からなる第一キャリブレーションピンホール25を、被検光学系6の像面位置に配置する。この時、第

一キャリアブレーションピンホール25で回折した波面は、理想的な球面波である。従って、ここで、撮像素子13上に形成される干渉縞は、検出光学系で発生した波面収差 W_p を表すことになる。

【0025】

$$W_1 = W_p \quad (2)$$

次に、第一キャリアブレーションピンホール25を取り除き、使用光の波長オーダの直径をもつ開口からなる第二キャリアブレーションピンホール27を、被検光学系6の物体面位置に設置する。第二キャリアブレーションピンホール27からは理想的な球面波が発生するので、この時、得られる干渉縞は、被検光学系6の波面収差 W_t と検出光学系の波面収差 W_p との和を表す。

【0026】

$$W_2 = W_t + W_p \quad (3)$$

以上2回の測定を行うことにより、被検光学系6の波面収差 W_t のみを求めることが出来る。具体的には、式

(2)及び(3)を用いて、

$$W_t = W_2 - W_p = W_2 - W_1 \quad (4)$$

を求めればよい。式(4)の計算は、コンピュータで波面収差の測定結果を減算することにより容易に行われる。

【0027】縮小光学系や検出光学系の持つ波面収差が時間的に変動しないのであれば、上記の較正方法は、一度だけ行っておけばよい。縮小光学系の波面収差 W_r は $W_r = W_0 - W_2$

で求められる。検出光学系の波面収差は W_1 であるので、これらの情報をコンピュータ内に貯えておき、通常の測定結果 W_0 から W_r と W_p を減算すれば、被検レンズの波面収差 W_t を1回の測定だけで求めることが出来る。キャリアブレーションピンホールを用いた較正のための測定は、定期的に行うだけで十分である。

【0028】続いて、測定時に行う光学系のアライメント装置について、図9を用いて説明する。本実施例の干渉計では、光源ピンホール4aから出射した光を検出ピンホール11aに集光しないと、測定が出来ない。そのため、光学系のアライメントが非常に重要である。被検光学系6の波面収差は、光軸上のみならず、軸外においても測定する必要があるため、光源部は、ステージ23上に設置され、水平面内(被検光学系6の光軸と垂直方向)及び垂直方向に移動可能になっている。検出側光学系も、同様にステージ24上に設置されており、水平面内及び垂直方向に移動可能である。

【0029】被検光学系6が基準位置に設置された後、ステージ23は、水平方向及び光軸方向の所定の位置に移動する。移動量はコンピュータで指示され、ステージ23の位置は不図示のレーザ測長装置で精密に計測される。この時、光源ピンホール4aから出射した光の一部は、ハーフミラー8を透過し、ミラー16で反射され、測定光路A2中に挿入されたミラー22を介して、集光

レンズ12によって撮像素子13上にスポットを結像する。このスポットの基準位置からのずれ量はステージ24の位置ずれ量を表すので、この情報を用いてステージ24を移動することにより、水平方向のアライメントを行うことが出来る。

【0030】しかし、この装置では、アライメントの分解能は撮像素子13の画素サイズによって決まるため、測定光を検出ピンホール11aに照射するには、感度が不十分である。そこで、本実施例では、ピンホール4aから出射した光は、集光レンズ17により4分割ディテクタ18上にも集光するようにしている。4分割ディテクタを用いると、撮像素子のみを用いた従来の装置に比べて高い分解能で位置ずれを測定できる。そのため、この情報を基にステージ24の位置を修正すれば、測定光を検出ピンホール11a上に集光することが可能になる。本実施例では検出器として4分割ディテクタを用いたが、PSDなど他の手段を用いてもよい。ステージ24の位置もまた不図示のレーザ測長機によって計測されている。

【0031】光軸方向の位置ずれは、結像レンズ12を用いて、形成されたスポット像の大きさを判断することにより、測定することが出来る。しかし、最終的には、一回測定を行い、干渉縞を解析して、フォーカス成分を計算し、その情報を基に光軸方向にステージを移動するという方法で、精密に行っている。本実施例中では、4分割ディテクタ18は、アライメント装置としてだけではなく、能動光学系のディテクタとしても用いられている。前述の様に、4分割ディテクタ18を用いると、光学系の横ずれを検出することが出来る。横ずれの原因にはアライメント誤差だけではなく、振動などの外乱も含まれる。本装置は、不図示の除振装置の上に設置されているが、外部からの振動を完全に排除することは難しい。特に、水平方向の振動は、干渉縞のコントラストを低減させ、測定自体を不可能にすることもある大きな問題である。

【0032】本実施例では、4分割ディテクタ18から得た信号を用いて、光学系の横ずれ量をコンピュータ20でリアルタイムで計算し、それを打ち消すように光源ピンホール4aの位置を移動させている。これにより、振動の影響を打ち消すことができる。ここで、ピンホールの移動量はコンピュータ20から指示され、ピンホールの移動は圧電素子21を用いて行われている。本実施例では、光源ピンホール4aを移動することにより振動の影響を打ち消しているが、このことは、光源ピンホールのみが振動していたということ意味する訳ではない。光源部23、被検光学系6及び検出系24の相対関係の変化を、光源ピンホール4aの移動のみで補償しているのであり、被検光学系6や検出系24を移動することでも同様の効果が得られる。本実施例では、高速応答を可能にするため、重量の軽い光源ピンホール4aを移

動させている。

【0033】本実施例では、4分割ディテクタ18は、更に、被検光学系6のディストーション計測にも用いられている。光源部ピンホール4aが被検光学系6の光軸上から水平にxの位置に置かれるように、ステージ23を移動したとき、縮小倍率1/m倍の被検光学系6によって像面位置内に出来る像は、理想的には、光軸からx/mの距離にあるはずである。しかし、被検光学系6が歪曲収差を持つ場合には、結像位置は光軸と直交する方向にシフトする。このシフトした量を計測するのが、ディストーション計測である。本実施例では、ステージ23及び24の位置を高精度にレーザ干渉計で計測しながら、像面位置に形成された像の位置ずれを4分割ディテクタを用いて計測することにより、ディストーション計測を実現している。ディストーション計測時には、前述の能動光学シーケンスは停止するか、圧電素子による光源ピンホールの移動量まで考慮してディストーション計算を行う必要がある。4分割ディテクタ18を用いることにより、ナノメータ・オーダでの測定が実現可能である。

【第二実施例】本発明の第2実施例を、図10を用いて説明する。本実施例は、第一実施例とは異なり、被検光学系内で測定光を往復させる干渉計である。

【0034】光源28から出射された単色光は、ミラー29及び不図示のビームエキスパンダなどを透過した後、集光レンズ30によってハーフミラー31で反射後、マスク32上に集光される。マスク32は、第一実施例の光源ピンホール4と検出ピンホール11とを一体化したものである。マスク32は、測定光の波長オーダの小さなピンホールと、波長の数十から数百のオーダの比較的大きいウィンドウとからなり、前述の集光光束は、小さなピンホール上に集光される。

【0035】ピンホールで回折させた光は、理想的な球面波となり、回折格子33の0次透過光のみが測定光として被検光学系37に入射する。この測定光は、被検光学系37の瞳面を十分にカバーしていなければならない。他の次数の回折光は絞り51によりカットされる。図10に示す実施例では、絞り51は、被検光学系37の入射側（下側）に置かれているが、出射側（上側）の集光点に設置してもよい。また、回折格子33を、被検光学系37と射出側（上側）の集光点との間に設置することも可能である。

【0036】被検光学系37を透過した測定光は、極めて高精度に製作された球面ミラー38で反射され、再び被検光学系37を透過し、検出光学系に入射する。第一対物レンズ36、ハーフミラー35、第2対物レンズ34によりポイント像をマスク32上に再結像すること、回折格子33のある次数の光をマスク32上に集光し回折波面を参照波面にすること、マスク32のウィンドウを透過した別の次数の波面を被検波面にすること、それ

以外の次数はマスク32でカットされることは、第一実施例と同じである。

【0037】本実施例においては、マスク32や回折格子33などによる反射光が撮像素子45に入射する可能性がある。そのための解決手段として、これらの素子を、光軸に対して若干傾斜させて設置する場合がある。また、被検光学系6の瞳面を撮像素子45の検出面に結像することが望ましいのは、第一実施例と同じであるが、実現が不可能な場合には、球面ミラー38の反射面を撮像素子45の検出面に結像することにしてもよい。本装置による測定結果は、被検光学系6を往復することによって生じた波面収差を表しているのので、被検光学系6の片道だけを通過した波面収差を求めるには、測定結果を2で割る必要があることは言うまでもない。

【0038】アライメント光学系の構成も第一実施例と同じである。また、本実施例の場合には振動の影響を補償するために、球面ミラー38の位置を能動的に動かしている。干渉縞画像を高精度で解析するためには、第一実施例と同様に、回折格子33を圧電素子33aなどを用いてシフトした時の複数の干渉縞画像を用いることも可能である。しかし、本実施例では、以下に示すような異なる手法を用いている。

【0039】回折格子33を用いる場合、回折格子33のピッチをG、回折格子33とマスク32との距離をzとし、測定波長をλとすると、マスク32上での基準光と測定光の間隔dは、

$$d = z \tan \{ \arcsin (\lambda / G) \} \approx \lambda z / G$$

となる。測定光を、焦点距離fのレンズ44で平行光にして撮像素子45に入射させる場合、レンズ44の焦点距離をfとすると、レンズ透過後の参照波面と被検波面とのなす角θは、

$$\theta = \arctan (d / f)$$

と表わされる。従って、撮像素子45上での干渉縞の周期Tは、

$$T = \lambda / \sin \theta = \lambda / \sin \{ \arctan (d / f) \} \approx \lambda f / d \approx f G / d z$$

と表わすことが出来る。この式は、干渉縞の周期Tが回折格子のピッチなどから事前に知ることが出来る量であること、測定時の被測定物の位置決めなどによって変化する量ではないことを示しており、このことから、干渉縞周期Tを撮像素子の画素間隔pの整数倍になる様に干渉計を構成することが容易であることが分かる。すなわち、

$$T = f G / d z = N p$$

となるように干渉計を構成することが出来る。Nは整数である。

【0040】干渉縞の情報を正しく計測するには、干渉縞の周波数が撮像素子45のナイキスト周波数よりも低くなければならない。この条件は、

$$T \geq 2 p$$

と表わされるので、 N は2以上の整数でなくてはならない。撮像素子45上での干涉縞の周期 T が p の整数倍である場合には、一般的な位相シフト干渉法の解析式を空間座標に適用することにより、位相分布を求めることが出来る。例えば、干涉縞の同位相線と垂直方向に撮像素子の画素が並んでおり、 $T=4p$ の場合には、図16に示すように、 n 番目の画素からの出力 $I(n)$ は、

$$I(n) = A + B \sin \phi$$

$$I(n+1) = A + B \sin(\phi + \pi/2) = A + B \cos \phi$$

$$I(n+2) = A + B \sin(\phi + \pi) = A - B \sin \phi$$

$$I(n+3) = A + B \sin(\phi + 3\pi/2) = A - B \cos \phi$$

と表される。従って、 $n \sim n+3$ 番目の画素における平均位相 ϕ は、

$$\phi = \arctan \{ (I(n) - I(n+2)) / (I(n+1) - I(n+3)) \}$$

によって求めることが出来る。

【0041】干涉縞の解析は、フーリエ変換法を用いることによって行うことが出来る。本実施例では、コンピュータ46が複数の解析プログラムを有しており、最適な解析法を用いて計測を行うことが可能になっている。次に、図11を用いて、光学系の較正方法について説明する。上記までの方法で得られた計測結果には、被検光学系37の波面収差だけではなく、検出光学系(33から36)の波面収差が重畳している。これらの波面収差の影響を取り除くため、高精度に製作された球面ミラー52を用いる。球面ミラー52を被検光学系37の代わりに設置して、計測を行うと、その結果は、検出光学系(33から36)の波面収差を表す。この結果をコンピュータ内に保存しておき、図10に示した干涉計の構成で計測した結果から減算することにより、被検光学系37の波面収差のみを計測することが出来る。較正用球面ミラー52の曲率半径 $R52$ と測定用球面ミラー38の曲率半径 $R38$ との間には、

$$R52 = M \cdot M \cdot R38$$

の関係があることが望ましい。ここで、 M は被検光学系37に図で上側から光を入射させた場合の倍率である。半導体露光装置の場合、 M は $1/4 \sim 1/6$ のものが多い。

【第三実施例】本実施例は、第二実施例と同じく、測定光が被検光学系内を往復する装置であり、光源部ピンホールと検出ピンホールとをハーフミラーを介して分離したことを特徴とするものである。以下において、図12を参照しながら説明を行う。

【0042】光源54から出射した単色光は、ミラー55及び不図示のビームエキスパンダなどを透過した後、集光レンズ56によって測定光の波長オーダの小さな光源ピンホール57上に集光される。ピンホールで回折した光は、理想的な球面波としてコリメータレンズ59に入射し、第一対物レンズ63で被検光学系64の物体面位置に集光される。被検光学系64を透過した光は、極

めて高精度な球面ミラー65により反射され、再び被検光学系64を透過する。この測定光が、ハーフミラー61で反射された後、回折格子73、マスク74で参照波面と被検波面とに分離され、撮像素子76上に干涉縞を形成する。プロセスは第一、第二実施例と全く同じであるので省略する。

【0043】被検光学系64の瞳面を撮像素子76の検出面に結像することが望ましいが、実現が不可能な場合には、球面ミラー65の反射面を撮像素子76の検出面に結像するのでもよい点も、第二実施例と同じである。回折格子73のシフトを用いた干涉縞の解析方法や、4分割ディテクタ70を用いたアライメント方法も全く同じである。また、本実施例においては、光源ピンホール57を能動的に動かして振動などの外乱の影響を排除しているが、これは第一実施例と同じである。

【0044】本実施例が第二実施例と異なる点は、像面位置に絞りを置いて、不要な回折光を除去する必要がない点である。図13に示す計測装置は、図12に示す干涉計の較正方法を示したものである。第二実施例と同様に、高精度な球面ミラー82を用いて較正を行う。較正方法は第二実施例と同じであるが、本実施例においては、更に計測精度を上げるために、工夫が設けられている。球面ミラーを用いて装置の較正を行う場合に、精度を決定するのは、球面ミラーの面精度である。面精度が悪ければ、それ以上の精度で較正を行うことは出来ない。とは言え、高精度な面を製作するのは極めて難しいため、本実施例では、測定した面精度データを用いて装置の較正を行う方式を採っている。

【0045】球面ミラー82は、回転テーブル83上に設置されており、0度位置で計測を行った後、180度回転した位置で第二の測定を行う。その後、像面位置にミラー84を挿入し、第三の測定(所謂、キャッツアイ測定)を行う。これら3回の測定結果を解析することにより、球面ミラー82の絶対形状を知ることが出来る。本測定装置では、装置上でこの測定を可能にすることにより、較正精度を格段に向上させている。

【0046】具体的には、本装置により測定された球面ミラー82の面精度の影響をコンピュータ78で減算することにより、光学系で生じている収差のみを正しく求めている。本実施例では、ミラー84を挿入することによりキャッツアイ測定を実現しているが、球面ミラー82が光軸方法に移動可能であれば、球面ミラー82自身を用いてキャッツアイ測定を行うことも可能である。

【0047】本方式による測定精度の向上手法は、測定用球面ミラー65の面精度較正にも用いることが可能であることは言うまでもない。測定用球面ミラー65はステージ66上に搭載されているので、ステージを光軸方向に測定用球面ミラー65の曲率半径分だけ移動し、キャッツアイ測定の配置を取ることは比較的容易である。

【0048】図14は、本実施例の干涉計の組立調整方

法について示したものである。第一対物レンズ 63 の位置に置かれた極めて高精度な平面ミラー 81 からの反射光を計測することにより、コリメータレンズ 59、第 2 対物レンズ 72、その他ミラー等で生じている波面収差を知ることが出来る。この情報を基に、例えば、コリメータレンズの調整を行ったり、ミラーのホルドによる歪みを取り除いたりすることが可能になる。

【0049】図 15 に示す本実施例の干渉計の組立調整方法では、コーナーキューブミラー 80 を設置している。コーナーキューブミラー 80 で反射した光は入射方向に戻るという性質を利用して、光源ピンホール 57 と共役な位置に検出ピンホール 74 や 4 分割ディテクタ 70 を配置することが出来る。尚、上記各実施例の光源側のピンホールは、ファイバーの端面であってもよい。つまり、光源側のピンホールは、点光源とみなせる程度のものであれば、何でもよい。

【0050】

【発明の効果】以上のように、本発明によって、コヒーレンス長が非常に短い光源を使用する光学系であっても、高い測定精度で波面収差を測定することのできる干渉計を提供することができるようになった。

【図面の簡単な説明】

【図 1】図 1 は、本発明による第一実施例の波面収差測定用干渉計を示す図である。

【図 2】図 2 は、ピンホールの構成を示す図である。

【図 3】図 3 は、マスクの構成を示す図である。

【図 4】図 4 は、第一実施例での参照波面及び被検波面形成方法を示す図である。

【図 5】図 5 は、第一実施例の干渉計の較正を示す図である。

【図 6】図 6 は、第一実施例の干渉計の較正を示す図である。

【図 7】図 7 は、第一実施例でのパルス遅延光学系の構成を示す図である。

【図 8】図 8 は、第一実施例でのパルス遅延光学系の効果を示す図である。

【図 9】図 9 は、本発明による第一実施例の波面収差測

定用干渉計を示す図である。

【図 10】図 10 は、本発明による第二実施例の波面収差測定用干渉計を示す図である。

【図 11】図 11 は、第二実施例の干渉計の較正を示す図である。

【図 12】図 12 は、本発明による第三実施例の波面収差測定用干渉計を示す図である。

【図 13】図 13 は、第三実施例の干渉計の較正を示す図である。

【図 14】図 14 は、第三実施例の干渉計の較正を示す図である。

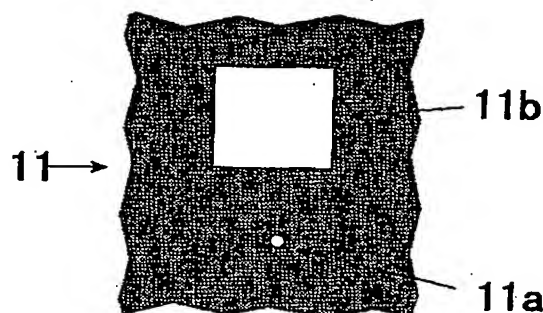
【図 15】図 15 は、第三実施例の干渉計の較正を示す図である。

【図 16】図 16 は、干渉縞と撮像素子との関係を示す図である。

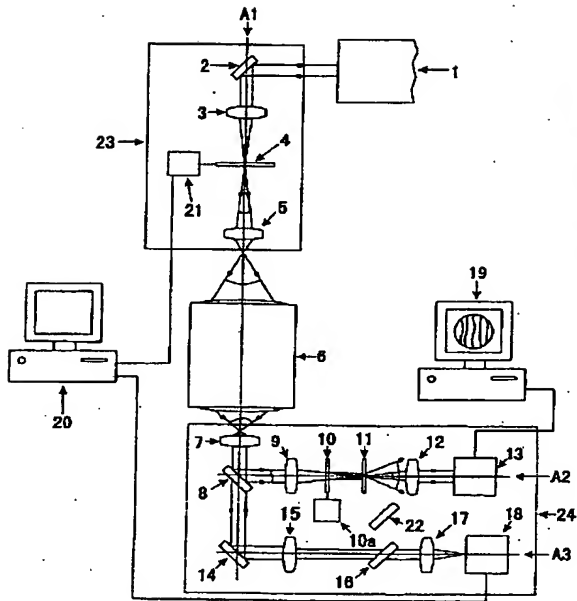
【符号の説明】

- 1、28、54：光源
- 3、30、56：集光レンズ
- 4、57：光源ピンホール
- 5：縮小光学系
- 6、37、64：被検光学系
- 7、36、63：第一対物レンズ
- 8、35、62：ハーフミラー
- 9、34、72：第二対物レンズ
- 10、33、73：回折格子
- 11、32、74：マスク
- 12、44、75：結像レンズ
- 13、45、76：撮像素子
- 18、43、70：4 分割ディテクタ
- 38、65：球面ミラー
- 25、27：較正用ピンホール
- 52、82：較正用球面ミラー
- 19、48、78：干渉縞解析用コンピュータ
- 20、46、79：能動システム制御用コンピュータ
- 90：干渉縞
- 91：撮像素子 1 ライン拡大図

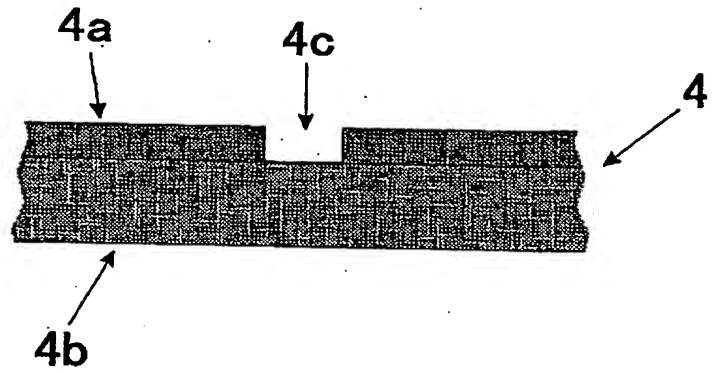
【図 3】



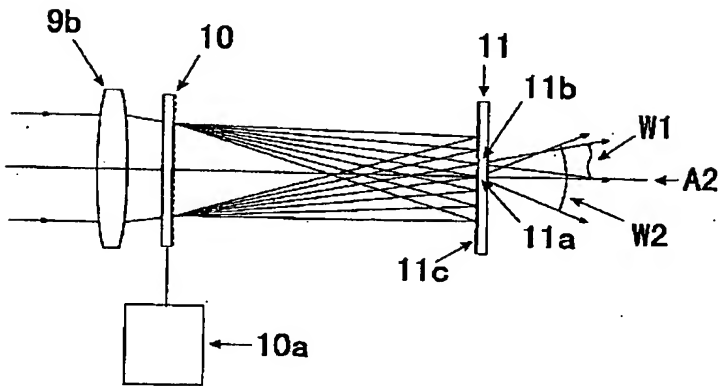
【図 1】



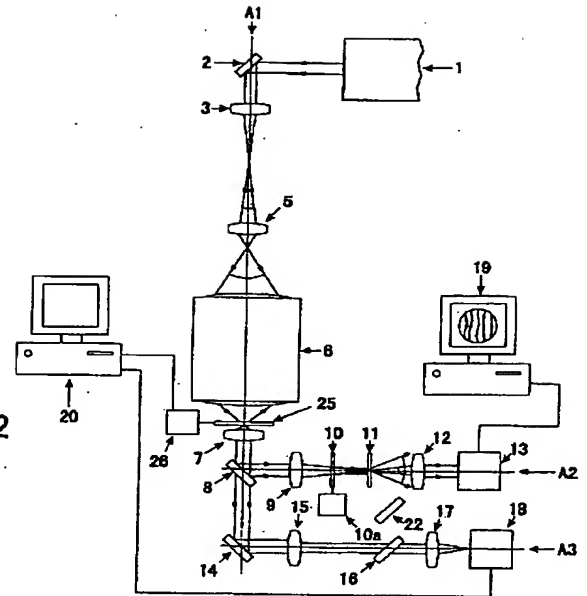
【図 2】



【図 4】

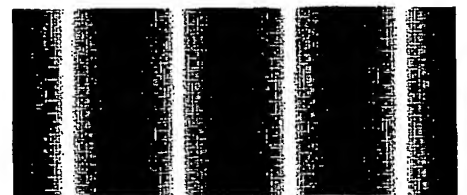


【図 5】



【図 16】

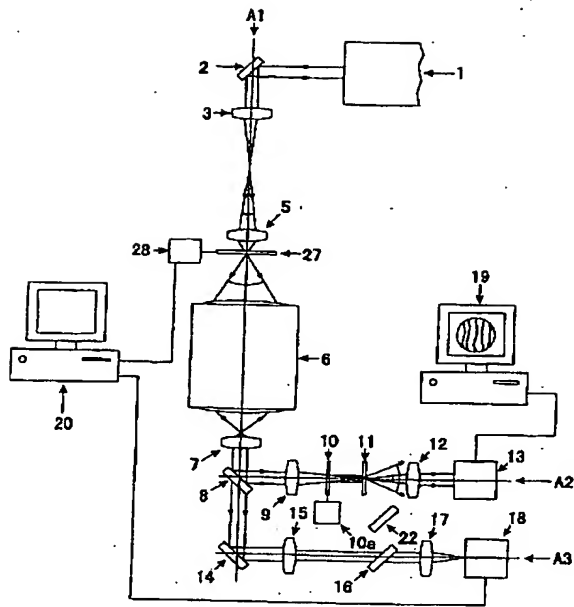
90



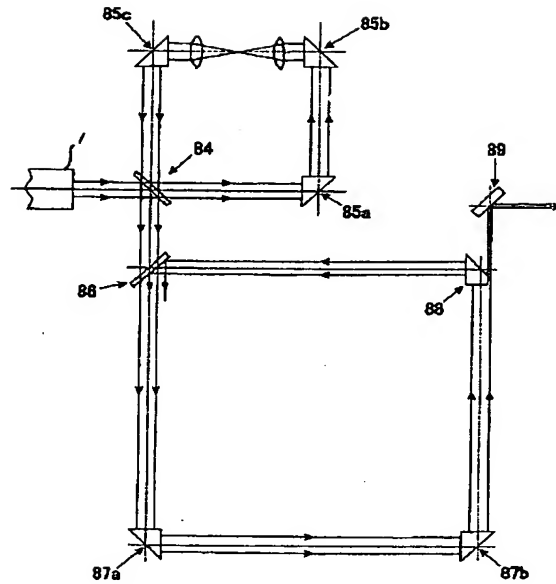
91

 $I(n)$ $I(n+1)$ $I(n+2)$ $I(n+3)$

【図 6】

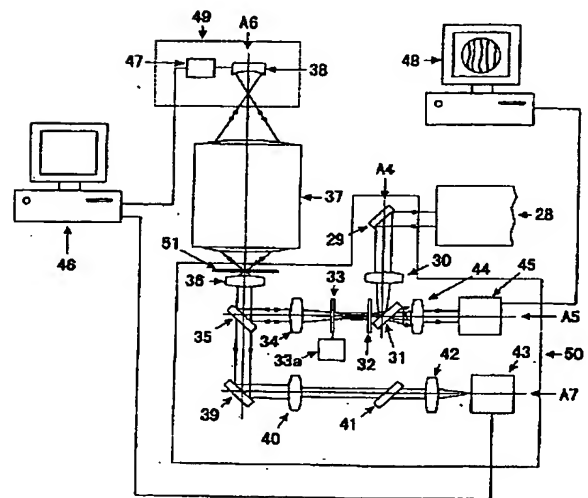
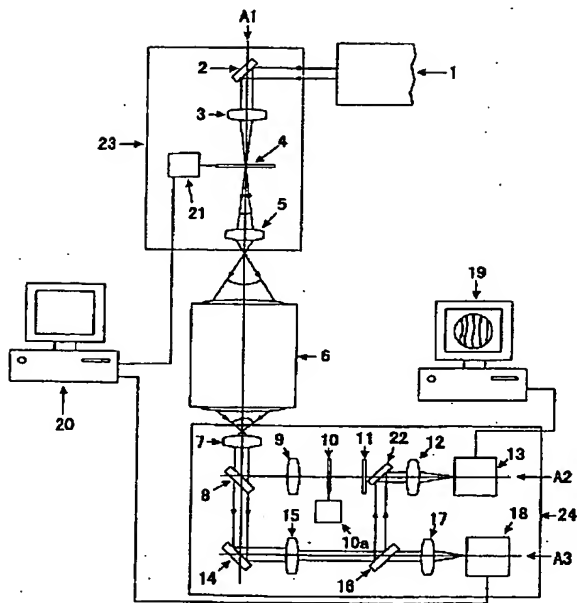


【図 7】



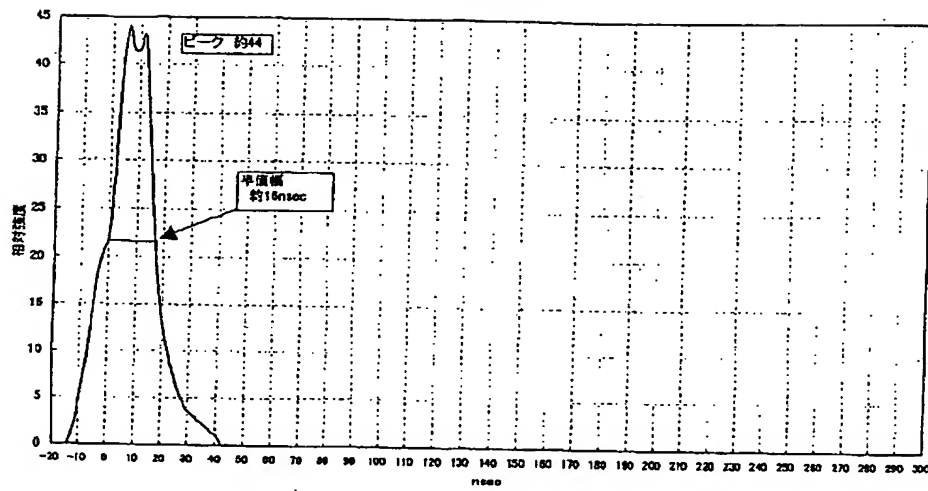
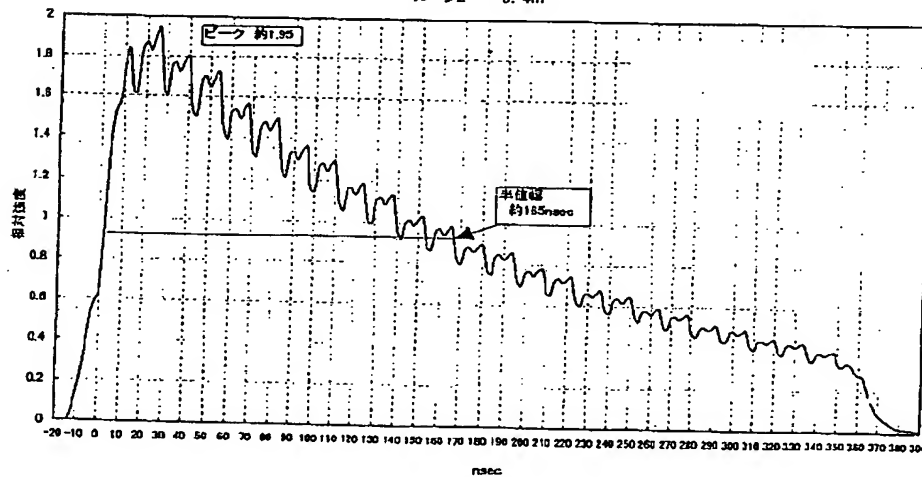
【図 10】

【図 9】

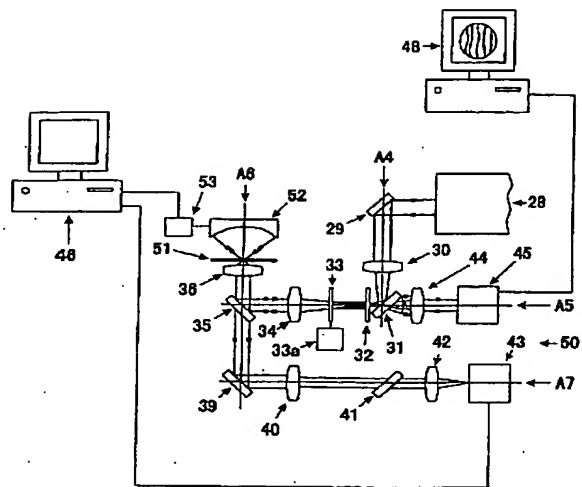


【図 8】

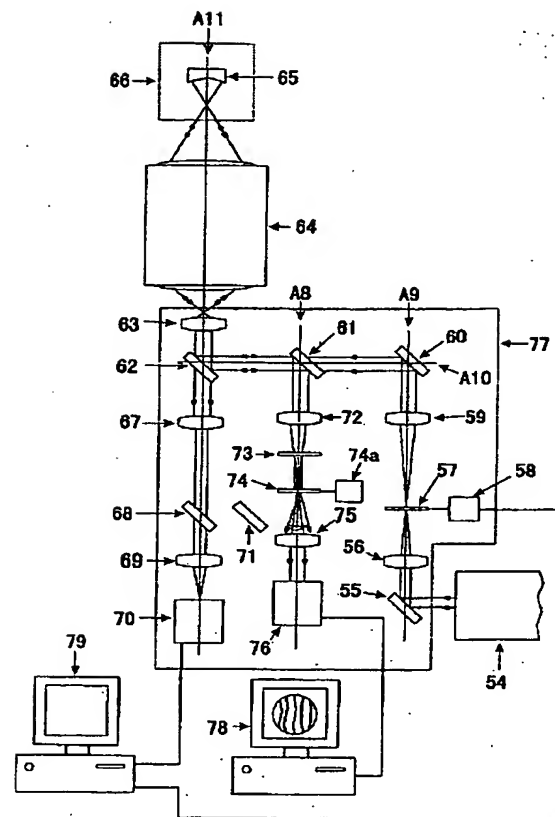
元パルス波形

ループ1 -- 4.2m
ループ2 -- 0.4m

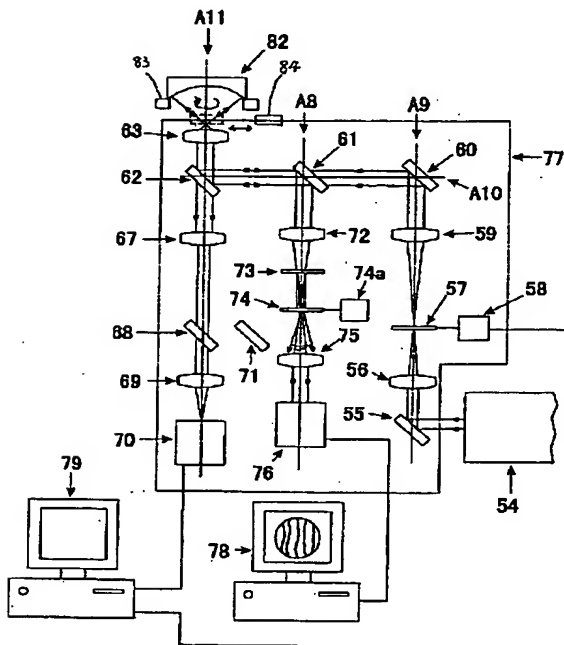
【図 11】



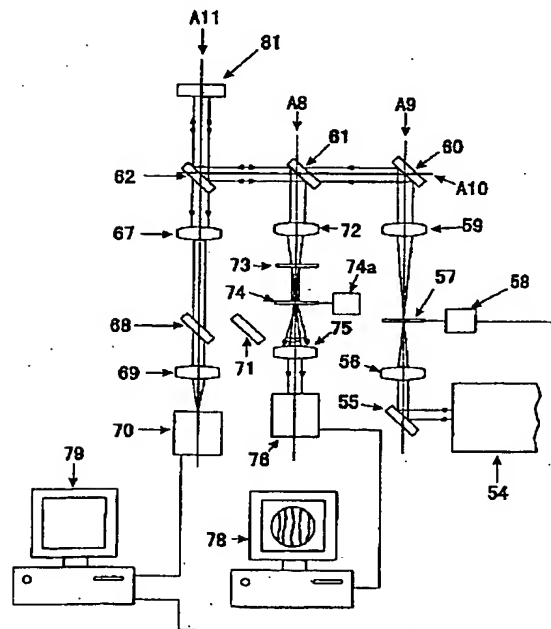
【図 12】



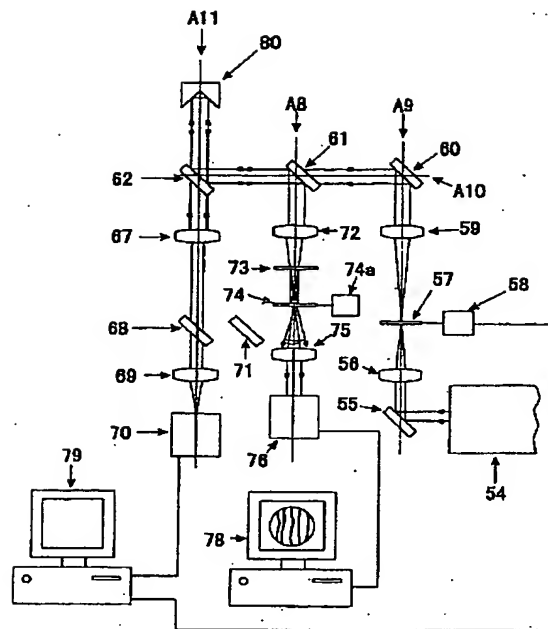
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

(72)発明者 長山 匡
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
 式会社ニコン内

Fターム(参考) 2F064 AA09 BB03 CC04 EE05 FF01
 FF03 FF05 GG13 GG20 GG22
 GG49 HH03 HH06 HH08 JJ01
 JJ06 JJ15

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-097616

(43)Date of publication of application : 07.04.2000

(51)Int.Cl.

G01B 9/02

(21)Application number : 10-268794

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 22.09.1998

(72)Inventor : BRUCE JACOBSEN

GENMA TAKASHI

SUZUKI JUN

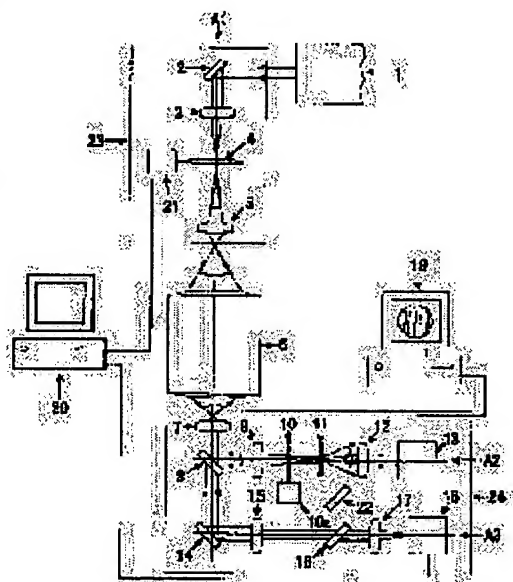
NAGAYAMA TADASHI

(54) INTERFEROMETER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To permit the highly accurate measurement of wavefront aberration even of an optical system using a light source with extremely short coherence length by bringing the first beam of light diffracted by the second pinhole into interference with the second beam of light.

SOLUTION: Quasi-monochromatic light emitted from the same light source 1 as an exposure light source is transmitted through a mirror 2, a beam expander, etc., and is converged on a pinhole 4 by a converging lens 3. The light diffracted by the pinhole 4 becomes ideal spherical waves and becomes incident onto a test optical system 6 as measuring light. The measuring light is transmitted through the test optical system 6, converged on the location of the image surface of the test optical system 6, magnified, and brought into forming an image on a mask 11 via the first objective lens 7, a half mirror 8, and the second objective lens 9. A diffraction grating 10 is arranged between the mask 11 and the second objective lens 9 to divide the measuring light into a plurality of beams of diffracted light. A reference wavefront and a surface to be inspected are superimposed to an image pickup device 13 by a lens 12 to form interference fringes. The image of the interference fringes is analyzed by a computer 19 to obtain the wavefront aberration of the test optical system 6.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] In an interferometer for measuring wave aberration of *****-ed using the flux of light emitted from the light source The first optical means which it has [optical means] the 1st pinhole which changes the flux of light from said light source into a spherical wave, and carries out incidence of said spherical wave to said *****-ed, The second optical means which divides an outgoing beam from said *****-ed into the 1st and 2nd flux of lights at least, The third optical means which it has [optical means] the 2nd different pinhole from said pinhole, and makes said 1st flux of light diffract at said 2nd pinhole, An interferometer characterized by obtaining an interference fringe by **** (ing) and making said 1st flux of light which you were made to diffract at said 2nd pinhole, and said 2nd flux of light interfere.

[Claim 2] It is the interferometer according to claim 1 characterized by arranging said first optical means at a body side location side of said *****-ed, and arranging said third optical means at an image surface location side of said *****-ed.

[Claim 3] Said second optical means is an interferometer according to claim 1 or 2 characterized by including a diffraction grating.

[Claim 4] Said diffraction grating is an interferometer according to claim 3 characterized by being movable in a direction vertical to an optical axis.

[Claim 5] Said second optical means is an interferometer according to claim 1 to 4 characterized by including amplification image formation optical system.

[Claim 6] Said third optical means is an interferometer according to claim 1 to 5 characterized by having a board which was able to prepare a window which makes only said 2nd flux of light other than said 2nd pinhole penetrate.

[Claim 7] When a diameter ϕ of said 1st pinhole of said first optical means sets [measurement wavelength] a scale factor of NA and the first optical means to m for incidence side numerical aperture of λ and a ** -ed lens, it is $\lambda/2 < \phi < \lambda/(m \cdot NA)$.

An interferometer according to claim 1 to 6 characterized by satisfying *****.

[Claim 8] An interferometer according to claim 1 to 7 characterized by for a condensing point being in an optical path of said first optical means, and inserting the 3rd pinhole in this condensing point.

[Claim 9] An interferometer according to claim 8 characterized by having a computer which saves a wave-front measurement result when inserting said 3rd pinhole in said condensing point.

[Claim 10] An interferometer according to claim 1 to 9 characterized by for a condensing point being in an optical path of said third optical means, and inserting the 4th pinhole in this condensing point.

[Claim 11] An interferometer according to claim 10 characterized by having a computer which saves a wave-front measurement result when inserting said 4th pinhole in said condensing point.

[Claim 12] It is the interferometer according to claim 1 to 11 characterized by installing said first optical means on the first stage, installing said second optical means and third optical means on the second stage, and said first stage and said second stage being movable to said *****-ed. [Claim 13] Said first stage and said second stage are an interferometer according to claim 12 characterized by interlocking and moving.

[Claim 14] An interferometer according to claim 12 or 13 characterized by having a laser interferometer which measures a location of said first stage and second stage.

[Claim 15] Coherence length of said light source is an interferometer according to claim 1 to 14 characterized by being 1/10 or less [of length between object images of said *****-ed].

[Claim 16] In an interferometer for measuring wave aberration of *****-ed using the flux of light emitted from the light source The first optical means which it has [optical means] a pinhole which changes the flux of light from said light source into a spherical wave, and carries out incidence of said spherical wave to said *****-ed, A reflective

http://www4.ipdl.jpo.go.jp/cgi-bin/tran_web CGI_ejje?u=http%3A%2F%2Fwww4.ipdl.jpo.go.jp%2FTokuj... 3/18/2004

means to reflect and to return an outgoing beam from said *****-ed to said *****-ed again, The second optical means which divides an outgoing beam from said reflective means into the 1st and 2nd flux of lights at least, An interferometer characterized by obtaining an interference fringe by making said 1st flux of light diffract, having the third optical means which generates a spherical wave, and making said 1st flux of light which you were made to diffract by said 3rd optical means, and said 2nd flux of light interfere.

[Claim 17] Said reflective means is an interferometer according to claim 16 characterized by being the spherical mirror manufactured by high degree of accuracy.

[Claim 18] Said pinhole is an interferometer according to claim 16 or 17 characterized by serving also as generating a spherical wave of said third optical means.

[Claim 19] A means to generate a spherical wave of said third optical means is an interferometer according to claim 16 or 17 characterized by being said pinhole and a different pinhole.

[Claim 20] Both a pinhole of said first optical means and a pinhole of said third optical means are an interferometer according to claim 18 or 19 characterized by being arranged at an image surface location side of *****-ed.

[Claim 21] Both a pinhole of said first optical means and a pinhole of said third optical means are an interferometer according to claim 18 or 19 characterized by being arranged at a body side location side of *****-ed.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to the interferometer for measuring the wave aberration of optical system.

[0002]

[Description of the Prior Art] As equipment for measuring the wave aberration of optical system, the thing adapting an interferometer is known from the former. For example, these interferometers were the Fizeau interferometer and the Twyman Green interferometer. Moreover, the point diffraction interferometer using the diffracted light from a pinhole is opened to JP,57-64139,A.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The cutback projection lens of a semiconductor aligner is mentioned as one of the optical system as which current and the highest wave-front precision are demanded. Since this cutback projection lens is having wave aberration optimized to the exposure light source wavelength of a semiconductor aligner, it is necessary for measurement of wave aberration to use the exposure light source.

[0004] However, i line of the mercury lamp which is the exposure light source of a semiconductor aligner, and KrF, ArF, and F2 excimer laser have dramatically short coherence length, and cannot measure wave aberration using the Fizeau interferometer. On the other hand, in the Twyman Green interferometer, if the optical path length of a measurement path and the optical path length of a reference beam way containing a cutback projection lens (*****-ed) are made in agreement, an interference fringe can be obtained. However, since reference beam way length is set to 1m or more, it cannot be influenced of disturbance, such as air fluctuation, and cannot realize the high accuracy of measurement called $\lambda/100$ needed.

[0005] Moreover, since a point diffraction interferometer does not need the high light source of coherence, there is no problem of coherence. However, in the conventional example, the accuracy of measurement high for that the precision of the wave front which carries out incidence to *****-ed is bad, and the wave aberration generated with a wavefront-splitting element (for example, diffraction grating) was unrealizable. This invention was made in view of the above-mentioned trouble, and even if it is optical system for which coherence length uses the very short light source, it aims at offering the interferometer which can measure wave aberration by the high accuracy of measurement.

[0006]

[Means for Solving the Problem] In an interferometer for measuring wave aberration of *****-ed in this invention using the flux of light emitted from the light source, in order to attain the above-mentioned object The first optical means which it has [optical means] the 1st pinhole which changes the flux of light from said light source into a spherical wave, and carries out incidence of said spherical wave to said *****-ed, The second optical means which divides an outgoing beam from said *****-ed into the 1st and 2nd flux of lights at least, The third optical means which it has [optical means] the 2nd different pinhole from said pinhole, and makes said 1st flux of light diffract at said 2nd pinhole, It **** and an interferometer characterized by obtaining an interference fringe is offered by making said 1st flux of light which you were made to diffract at said 2nd pinhole, and said 2nd flux of light interfere.

[0007] Moreover, it sets to an interferometer for measuring wave aberration of *****-ed using the flux of light emitted from the light source. The first optical means which it has [optical means] a pinhole which changes the flux of light from said light source into a spherical wave, and carries out incidence of said spherical wave to said *****-ed, A reflective means to reflect and to return an outgoing beam from said *****-ed to said *****-ed again, The second optical means which divides an outgoing beam from said reflective means into the 1st and 2nd flux of lights at least, Said 1st flux of light is made to diffract, it has the third optical means which generates a spherical wave, and an

interferometer characterized by obtaining an interference fringe is also offered by making said 1st flux of light which you were made to diffract by said 3rd optical means, and said 2nd flux of light interfere.

[0008]

[Embodiment of the Invention] As mentioned above, in this invention, the wave-front accuracy of measurement is raised by carrying out incidence of the ideal spherical wave diffracted by the pinhole to *****-ed. Moreover, it makes it possible to raise the accuracy of measurement by measuring the wave aberration which newly inserted the pinhole for a calibration into the measurement path, and has been generated in optical system other than *****-ed, and subtracting it.

[0009] Moreover, the configuration of the interferometer for proofreading the wave aberration generated in optical system other than *****-ed using a high-degree-of-accuracy spherical mirror, without using the pinhole for a calibration was also devised.

[0010]

[Example] The [first example] The first example is explained using drawing 1 . This example is an interferometer for measuring the wave aberration of the cutback projection lens of a semiconductor aligner. That is, it is an example when using *****-ed as a cutback projection lens.

[0011] After the quasi-monochromatic light which carried out outgoing radiation from the same light source 1 as the exposure light source of a semiconductor aligner penetrates a mirror 2, a non-illustrated beam expander, etc., it is condensed on a pinhole 4 with a condenser lens 3. A pinhole 4 is the circular opening of the diameter of the wavelength degree of a measuring beam. In this example, a pinhole 4 vapor-deposits thin film 4a which consists of a metal membrane or dielectric multilayers, such as chromium, on the front face of quartz-glass board 4b, and etching etc. manufactures pinhole 4c by [of a thin film] forming in a core mostly. Drawing 2 is the enlarged view.

[0012] When the light sources are excimer laser, such as KrF, ArF, and F2, since these are pulse lasers, they irradiate energy strong against a short time of 10 - 20ns. Therefore, the construction material of a pinhole must be fully durable to the peak power of a pulse laser. The light made to diffract by pinhole 4c serves as an ideal spherical wave, and carries out incidence to ***** 6-ed as a measuring beam. In this example, the measuring beam is condensed by the cutback optical system 5 in the body side location (location where reticle is usually arranged) of ***** 6-ed.

[0013] A measuring beam must have only the angle of divergence which covers the pupil surface of ***** 6-ed, and it must carry out incidence to ***** 6-ed. This condition is $\phi < \lambda / (m \cdot NA)$, when the diameter of pinhole 4c is set to ϕ and it sets [measurement wavelength] the scale factor of NA and the cutback optical system 5 to m for the incidence side numerical aperture of λ and the *-ed lens 6. (A)

It can express. When the permeability of a pinhole is taken into consideration, it is $\lambda / 2 < \phi < \lambda / (m \cdot NA)$ actually. (B)

It becomes *****.

[0014] Amplification image formation of the measuring beam which condensed in the image surface location (location where a wafer is usually arranged) of ***** 6-ed is carried out on a mask 11 after penetrating ***** 6-ed through the first objective lens 7, a half mirror 8, and the 2nd objective lens 9. Amplification image formation is needed for preventing the fabrication of mask pinhole 11a mentioned later becoming difficult, if the magnitude of the image made into an image surface location becomes the very small thing of wavelength order and does not carry out amplification image formation, when the *-ed lens 6 is the cutback optical system for semiconductor aligners.

[0015] The diffraction grating 10 is installed between a mask 11 and the 2nd objective lens 9, and a measuring beam is divided into two or more diffracted lights. A mask 11 consists of small pinhole 11a of the wavelength order of a measuring beam, and comparatively large window 11b of hundreds of [dozens to] order of wavelength. It is separated from pinhole 11a and window 11b one 100 times the number of the wavelength of a measuring beam of this. Drawing 4 is the enlarged view of a mask 11. In this example, the zero-order diffracted light condenses to pinhole 11a, the primary diffracted light condenses in the center of window 11b, and the diffraction grating 10 is formed so that other diffracted lights may be cut with a mask 11. The light diffracted by pinhole 11a serves as an ideal spherical wave, and is used as a reference wave side of measurement. On the other hand, the light which penetrated window 11b is eternal, and is used as a detected field.

[0016] With a lens 12, a reference wave side and a detected field are superimposed by the image sensor 13, and form an interference fringe. The duty which carries out image formation of the pupil surface of ***** 6-ed on the detection side of an image sensor 13 has also achieved the lens 12. An interference fringe image is analyzed by computer 19, and the wave aberration which ***** 6-ed has is called for. In order to analyze an interference fringe with high degree of accuracy, a diffraction grating 10 is used for a piezoelectric device etc., and two or more interference fringe images when shifting to parallel about [every] $1/4$ of the period of a diffraction grating are used in the direction [vertical to an

optical axis and] vertical to the sense of the straight line of a diffraction grating. Analysis of an interference fringe is carried out to procedure well-known as a striped scanning method.

[0017] Here, in order to irradiate the pupil surface of ***** 6-ed, creation of the small pinhole which usually has a large angle of diffraction is needed. The fabrication of the pinhole of wavelength order is dramatically difficult. Moreover, when using a small pinhole, in order to obtain the interference fringe image of brightness sufficient with an image sensor 13, it will be necessary to illuminate pinhole 4a by very strong exposure reinforcement. The pinhole formed by the chromium film mentioned above has a possibility that a film may be damaged, when a strong light is irradiated.

[0018] The cutback optical system 5 is for preventing failure of a pinhole. For example, if a cutback scale factor is made into 1/10, while the magnitude of a pinhole will increase 10 times and a fabrication will become easy, exposure reinforcement increases 1/100 time, and the problem of the endurance of a pinhole film is also solved. When the light source 1 is the pulse light source like this example, there is the method of lowering the peak value of the exposure reinforcement of light source side pinhole 4a by division of a pulse besides the above-mentioned pinhole failure prevention method.

[0019] This example is explained using drawing 7. A half mirror 84 divides the light which carried out outgoing radiation from the light source 1. About 62% of permeability is [the reflection factor of a half mirror] desirable 38%. The flux of light which has penetrated the half mirror after penetrating a half mirror 84 and reflecting by the prism mirrors 85a, 85b, and 85c compared with the light reflected by the half mirror 84 is delayed in time. A time delay t_1 becomes the value which broke the optical path length L_1 of this loop by the speed of light c . A time delay t_1 must be chosen so that it may become longer than the pulse duration of the light source 1. A lens 90 is the optical system for equalizing them, when neither the intensity distribution in the cross section of a beam nor wavelength distribution is in agreement. Thereby, as for the beam which passed the loop, four directions are reversed.

[0020] The 2nd loop has the still bigger optical path length L_2 , and whenever it turns a loop, a half mirror 86 and the prism mirrors 87a, 87b, and 87c are arranged so that a beam may shift. The time delay t_2 by the 2nd loop is L_2/c , and whenever it rotates a loop once, the pulse in which only t_2 was is acquired. t_2 is chosen so that it may become a bigger value than t_1 .

[0021] The situation of the pulse change at the time of using such optical system is shown in drawing 8. It turns out that an effect equivalent to developing the persistence time of a pulse is chosen, and peak power is decreasing. Since it was the peak power of a pulse which is contributed to destruction of a pinhole film, this loop optical system brought the big effect to the improvement in endurance of a pinhole. In addition, this loop optical system is inserted between the light source 1 and a mirror 2.

[0022] By the measuring method to the above-mentioned, the detected field is influenced of the aberration of all the optical system between light source side pinhole 4a and detection side pinhole 11a. concrete -- the measurement result W_0 -- from the wave aberration W_r of the cutback optical system 5, the wave aberration W_t of ***** 6-ed, and the first objective lens 7 up to a diffraction grating 10 -- since -- it is expressed with the sum with the wave aberration W_p of the becoming detection optical system.

[0023] $W_0 = W_r + W_t + W_p$ (1)

As for the wave aberration W_r of cutback optical system, and the wave aberration W_p of detection optical system, it is desirable to make it small as much as possible. Therefore, such optical system is manufactured by high degree of accuracy using the homogeneous good material. When ***** 6-ed is the cutback optical system for semiconductor aligners, the precision prescribe of wave aberration measurement is very high, and cannot disregard effect of W_r and W_p . Then, how to remove these effects is explained using drawing 5 and drawing 6.

[0024] First, how to measure the wave aberration W_p of detection optical system is explained. The first calibration pinhole 25 which consists of a opening with the diameter of the wavelength order of activity light is arranged in the image surface location of ***** 6-ed. At this time, the wave front diffracted at the first calibration pinhole 25 is an ideal spherical wave. Therefore, the interference fringe formed on an image sensor 13 will express the wave aberration W_p generated in detection optical system here.

[0025]

$W_1 = W_p$ (2)

Next, the first calibration pinhole 25 is removed and the second calibration pinhole 27 which consists of a opening with the diameter of the wavelength order of activity light is installed in the body side location of ***** 6-ed. Since an ideal spherical wave occurs from the second calibration pinhole 27, the interference fringe obtained expresses the sum of the wave aberration W_t of ***** 6-ed, and the wave aberration W_p of detection optical system at this time.

[0026]

$$W_2 = W_t + W_p \quad (3)$$

It can ask only for the wave aberration W_t of ***** 6-ed by performing two measurement above. A formula (2) and (3) are used and, specifically, it is $W_t = W_2 - W_p = W_2 - W_1$. (4)

***** is good. Count of a formula (4) is easily performed by subtracting the measurement result of wave aberration by computer.

[0027] What is necessary is to perform the above-mentioned calibration method only at once, if the wave aberration which cutback optical system and detection optical system have is not changed in time. The wave aberration W_r of cutback optical system is called for by $W_r = W_0 - W_2$. Since the wave aberration of detection optical system is W_1 , such information is stored in the computer, and if W_r and W_p are subtracted from the usual measurement result W_0 , it can ask for the wave aberration W_t of a *-ed lens only by one measurement. It is enough just to perform measurement for the calibration using a calibration pinhole periodically.

[0028] Then, the alignment equipment of the optical system performed at the time of measurement is explained using drawing 9. In the interferometer of this example, unless it condenses the light which carried out outgoing radiation from light source pinhole 4a to detection pinhole 11a, measurement is impossible. Therefore, the alignment of optical system is dramatically important. Since it is necessary to measure the wave aberration of ***** 6-ed not only an optical-axis top but besides a shaft, the light source section is installed on a stage 23, and is movable to the perpendicular direction in the level surface (the optical axis and perpendicular direction of ***** 6-ed). Detection side optical system is similarly installed on the stage 24, and is movable to the inside of the level surface, and a perpendicular direction.

[0029] After ***** 6-ed is installed in a criteria location, a stage 23 is moved to the position of a horizontal direction and the direction of an optical axis. Movement magnitude is directed by computer and the location of a stage 23 is measured by the precision with non-illustrated laser length measurement equipment. At this time, a half mirror 8 is penetrated, it is reflected by the mirror 16, and a part of light which carried out outgoing radiation from light source pinhole 4a carries out image formation of the spot on an image sensor 13 with a condenser lens 12 through the mirror 22 inserted into the measurement path A2. Since the amount of gaps from the criteria location of this spot expresses the amount of location gaps of a stage 24, horizontal alignment can be performed by moving on a stage 24 using this information.

[0030] However, this equipment of sensitivity is insufficient [the resolution of alignment], in order to irradiate a measuring beam at detection pinhole 11a, since it is decided by pixel size of an image sensor 13. Then, he is trying for the light which carried out outgoing radiation from pinhole 4a to condense also on the quadrisection detector 18 with a condenser lens 17 in this example. If a quadrisection detector is used, compared with the conventional equipment only using an image sensor, a location gap can be measured with high resolution. Therefore, if the location of a stage 24 is corrected based on this information, it will become possible to condense a measuring beam on detection pinhole 11a. Although the quadrisection detector was used as a detector in this example, other means, such as PSD, may be used. The location of a stage 24 is also measured by the non-illustrated laser measuring machine.

[0031] A location gap of the direction of an optical axis can be measured by judging the magnitude of the formed spot image using the image formation lens 12. However, a focal component is calculated by performing measurement once and analyzing an interference fringe eventually, and it is the method of moving in the direction of an optical axis based on the information on a stage, and is carrying out to the precision. In this example, the quadrisection detector 18 is used also as a detector of active optical system only as alignment equipment. As mentioned above, if the quadrisection detector 18 is used, the strike slip of optical system is detectable. Not only an alignment error but disturbance, such as an oscillation, is included in the cause of a strike slip. Although this equipment is installed on non-illustrated vibration removal equipment, it is difficult for removing the oscillation from the outside thoroughly. Especially a horizontal oscillation is the big problem which may be made to reduce the contrast of an interference fringe and may make the measurement itself impossible.

[0032] In this example, using the signal acquired from the quadrisection detector 18, the amount of strike slips of optical system is calculated on real time by computer 20, and the location of light source pinhole 4a is moved so that it may be negated. Thereby, the effect of an oscillation can be negated. Here, the movement magnitude of a pinhole is directed from a computer 20, and migration of a pinhole is performed using the piezoelectric device 21. Although the effect of an oscillation is negated by moving light source pinhole 4a in this example, this does not necessarily mean that only the light source pinhole was vibrating. Change of the relative relation between the light source section 23, ***** 6-ed, and the detection system 24 is compensated only with migration of light source pinhole 4a, and an effect with the same said of moving ***** 6-ed and the detection system 24 is acquired. In this example, in order to enable a high-speed response, light source pinhole 4a with light weight is moved.

[0033] In this example, the quadrisection detector 18 is further used also for distortion measurement of ***** 6-ed. When it moves on a stage 23 so that light source section pinhole 4a may be horizontally put on the location of x from the optical axis of ***** 6-ed, ideally, the image made in an image surface location by ***** 6-ed $1/m$ time the cutback scale factor of this must be in the distance of x/m from the optical axis. However, when ***** 6-ed has distortion aberration, an image formation location is shifted in the direction which intersects perpendicularly with an optical axis. Distortion measurement measures this shifted amount. In this example, distortion measurement is realized by measuring a location gap of the image formed in the image surface location using a quadrisection detector, measuring the location of stages 23 and 24 with a laser interferometer to high degree of accuracy. It is necessary to stop or to take into consideration the above-mentioned active optical sequence to the movement magnitude of the light source pinhole by the piezoelectric device, and it needs to perform distortion count at the time of distortion measurement. By using the quadrisection detector 18, measurement with nanometer order is realizable.

The [second example] The 2nd example of this invention is explained using drawing 10. This example is an interferometer to which a measuring beam is made to go and come back within *****-ed unlike the first example.

[0034] After the homogeneous light by which outgoing radiation was carried out from the light source 28 penetrates a mirror 29, a non-illustrated beam expander, etc., it is condensed on a mask 32 after an echo by the half mirror 31 with a condenser lens 30. A mask 32 unifies the light source pinhole 4 and the detection pinhole 11 of the first example. A mask 32 consists of a small pinhole of the wavelength order of a measuring beam, and a comparatively large window of hundreds of [dozens to] order of wavelength, and the above-mentioned condensing flux of light is condensed on a small pinhole.

[0035] The light made to diffract at a pinhole serves as an ideal spherical wave, and only the zero-order transmitted light of a diffraction grating 33 carries out incidence to ***** 37-ed as a measuring beam. This measuring beam must fully cover the pupil surface of ***** 37-ed. The diffracted light of other degrees extracts and is cut by 51. In the example shown in drawing 10, although drawing 51 is put on the incidence side (below) of ***** 37-ed, it may be installed in the condensing point by the side of outgoing radiation (above). Moreover, it is also possible to install a diffraction grating 33 between ***** 37-ed and the condensing point by the side of injection (above).

[0036] It is reflected by the spherical-surface mirror 38 extremely manufactured by high degree of accuracy, and the measuring beam which penetrated ***** 37-ed penetrates ***** 37-ed again, and it carries out incidence to detection optical system. It is the same as the first example to carry out re-image formation of the point image on a mask 32 with the first objective lens 36, a half mirror 35, and the 2nd objective lens 34, to condense the light of a degree with a diffraction grating 33 on a mask 32, and to make a diffracted-wave side into a reference wave side, to make into a detected field the wave front of another degree which penetrated the window of a mask 32, and that the other degree is omitted with a mask 32.

[0037] In this example, the reflected light by the mask 32, a diffraction grating 33, etc. may carry out incidence to an image sensor 45. As a solution means for that, these elements are made to incline a little to an optical axis, and may be installed. Moreover, although one with desirable carrying out image formation of the pupil surface of ***** 6-ed to the detection side of an image sensor 45 is the same as the first example, when it cannot realize, it may be made to carry out image formation of the reflector of the spherical-surface mirror 38 to the detection side of an image sensor 45. Since the measurement result by this equipment expresses the wave aberration produced by going and coming back to ***** 6-ed, in order to ask for the wave aberration which passed only one way of ***** 6-ed, it cannot be overemphasized that it is necessary to divide a measurement result by 2.

[0038] The configuration of alignment optical system is the same as the first example. Moreover, in the case of this example, in order to compensate the effect of an oscillation, the location of the spherical-surface mirror 38 is moved actively. In order to analyze an interference fringe image with high degree of accuracy, it is also possible to use two or more interference fringe images when shifting a diffraction grating 33 using piezoelectric-device 33a etc. like the first example. However, different technique as shown below is used in this example.

[0039] If distance of G, a diffraction grating 33, and a mask 32 is set to z for the pitch of a diffraction grating 33 and measurement wavelength is set to λ when using a diffraction grating 33, the gap d of the criteria light on a mask 32 and a measuring beam will serve as $d = z \tan\{\arcsin(\lambda/G)\} \approx \lambda z / G$. When a measuring beam is made into parallel light with the lens 44 of a focal distance f, and carries out incidence to an image sensor 45 and the focal distance of a lens 44 is set to f, the angle θ of the reference wave side after lens transparency and a detected field to make is $\theta = \arctan(d/f)$.

It is expressed. Therefore, the period T of the interference fringe on an image sensor 45 can be expressed as $T = \lambda / \sin \theta = \lambda / \sin\{\arctan(d/f)\} \approx \lambda f / d$. This formula shows that it is not the amount which changes with positioning of the device under test at the time of that the period T of an interference fringe is the amount which

can be beforehand known from the pitch of a diffraction grating etc., and measurement etc., and is understood that it is easy to constitute an interferometer from this so that it may become the integral multiple of the pixel gap p of an image sensor about the interference fringe period T . That is, an interferometer can be constituted so that it may become $T = fG/dz = Np$. N is an integer.

[0040] In order to measure the information on an interference fringe correctly, the frequency of an interference fringe must be lower than the Nyquist rate of an image sensor 45. Since this condition is expressed as $T \geq 2p$, N must be two or more integers. When the period T of the interference fringe on an image sensor 45 is the integral multiple of p , phase distribution can be searched for by applying the analysis type of a general phase shift interference method to space coordinates. For example, the pixel of an image sensor is located in a line with the equiphase line and perpendicular direction of an interference fringe, and in being $T = 4p$. As shown in drawing 16, output [from the n -th pixel] $I(n)$ $I(n) = A + B \sin \phi I(n+1) = A + B \sin(\phi + \pi/2) = A + B \cos \phi I(n+2) = A + B \sin(\phi + \pi) = A - B \sin \phi I(n+3)$ -- it is expressed $= A + B \sin(\phi + 3\pi/2) = A - B \cos \phi$. Therefore, the average phase ϕ in the pixel of 3rd [+] n -th is $\phi = \arctan \{ (I(n) - I(n+2)) / (I(n+1) - I(n+3)) \}$.

It can ask "Be alike."

[0041] Analysis of an interference fringe can be performed also by using the Fourier transform. In this example, it enables it for the computer 46 to have two or more analyzers, and to measure using the optimal analysis method. Next, the calibration method of optical system is explained using drawing 11. The wave aberration of not only the wave aberration of ***** 37-ed but detection optical system (33-36) is overlapped on the measurement result obtained by the method to the above. In order to remove the effect of such wave aberration, the spherical-surface mirror 52 manufactured by high degree of accuracy is used. When it measures by installing the spherical-surface mirror 52 instead of ***** 37-ed, the result expresses the wave aberration of detection optical system (33-36). Only the wave aberration of ***** 37-ed is measurable by saving this result in the computer and subtracting from the result measured with the configuration of the interferometer shown in drawing 10. It is desirable for the relation of $R52 = M \cdot M - R38$ between the radius of curvature $R52$ of the spherical-surface mirror 52 for a calibration and the radius of curvature $R38$ of the spherical-surface mirror 38 for measurement to be. Here, M is a scale factor at the time of carrying out incidence of the light to ***** 37-ed from an upside by a diagram. In the case of a semiconductor aligner, M has many things of $1/4 - 1/6$.

The [third example] A measuring beam is equipment which goes and comes back to the inside of *****-ed, and this example is characterized by separating a light source section pinhole and a detection pinhole through a half mirror as well as the second example. It explains referring to drawing 12 below.

[0042] After the homogeneous light which carried out outgoing radiation from the light source 54 penetrates a mirror 55, a non-illustrated beam expander, etc., it is condensed on the small light source pinhole 57 of the wavelength order of a measuring beam with a condenser lens 56. Incidence of the light diffracted at the pinhole is carried out to a collimator lens 59 as an ideal spherical wave, and it is condensed by the body side location of ***** 64-ed with the first objective lens 63. It is reflected by the very highly precise spherical-surface mirror 65, and the light which penetrated ***** 64-ed penetrates ***** 64-ed again. It is separated into a reference wave side and a detected field by a diffraction grating 73 and the mask 74, and this measuring beam forms an interference fringe on an image sensor 76, after being reflected by the half mirror 61. For a start, since it is completely the same as the second example, a process is omitted.

[0043] Although it is desirable to carry out image formation of the pupil surface of ***** 64-ed to the detection side of an image sensor 76, when unrealizable, the point which may also carry out image formation of the reflector of the spherical-surface mirror 65 to the detection side of an image sensor 76 is the same as the second example. The same is completely said of the analysis method of an interference fringe using the shift of a diffraction grating 73, and the alignment method using the quadrissection detector 70. Moreover, in this example, although the light source pinhole 57 was moved actively and the effect of disturbance, such as an oscillation, is eliminated, this is the same as the first example.

[0044] The point that this example differs from the second example is a point that it is not necessary to put drawing on an image surface location and to remove the unnecessary diffracted light. The metering device shown in drawing 13 shows the calibration method of the interferometer shown in drawing 12. It proofreads like the second example using the highly precise spherical-surface mirror 82. Although the calibration method is the same as the second example, in order to raise measurement precision further, the device is established in this example. When proofreading equipment using a spherical-surface mirror, the profile irregularity of a spherical-surface mirror determines precision. If profile irregularity is bad, it cannot proofread in the precision beyond it. But since it is very difficult, manufacturing a highly precise field has taken the method which proofreads equipment using the measured profile irregularity data in this

example.

[0045] The spherical-surface mirror 82 is installed on the rotary table 83, and after it measures 0 times in a location, it performs second measurement in the location rotated 180 degrees. Then, a mirror 84 is inserted in an image surface location, and third measurement (the so-called cat's-eye measurement) is performed. By analyzing these 3 times of measurement results, the shape of absolute form of the spherical-surface mirror 82 can be known. in this measuring device, by enabling this measurement on equipment, calibration precision is boiled markedly and raised.

[0046] Only the aberration produced in optical system is correctly searched for by specifically subtracting the effect of the profile irregularity of the spherical-surface mirror 82 measured by this equipment by computer 78. Although cat's-eye measurement is realized by inserting a mirror 84 in this example, if the spherical-surface mirror 82 is movable to the optical-axis method, it is also possible to perform cat's-eye measurement using spherical-surface mirror 82 self.

[0047] It cannot be overemphasized that the improvement technique of the accuracy of measurement by this method can be used also for the profile irregularity calibration of the spherical-surface mirror 65 for measurement. Since the spherical-surface mirror 65 for measurement is carried on the stage 66, it is comparatively easy to move in the direction of an optical axis by the radius of curvature of the spherical-surface mirror 65 for measurement on a stage, and to take arrangement of cat's-eye measurement.

[0048] Drawing 14 shows the rigging method of the interferometer of this example. By measuring the reflected light from the very highly precise flat-surface mirror 81 put on the location of the first objective lens 63, the wave aberration produced by the collimator lens 59, the 2nd objective lens 72, other mirrors, etc. can be known. It becomes possible to adjust a collimator lens or to remove distortion by the hold of a mirror based on this information.

[0049] The cube-corner-reflector mirror 80 is installed by the rigging method of the interferometer of this example shown in drawing 15 . The light reflected by the cube-corner-reflector mirror 80 can arrange the detection pinhole 74 and the quadrissection detector 70 in the light source pinhole 57 and a location [****] using the property to return in the direction of incidence. In addition, the pinhole by the side of the light source of each above-mentioned example may be the end face of a fiber. That is, if the pinhole by the side of the light source is the thing of the degree it can be considered that is the point light source, it is good anything.

[0050]

[Effect of the Invention] As mentioned above, by this invention, even if coherence length was the optical system which uses the very short light source, the interferometer which can measure wave aberration by the high accuracy of measurement could be offered.

[Translation done.]

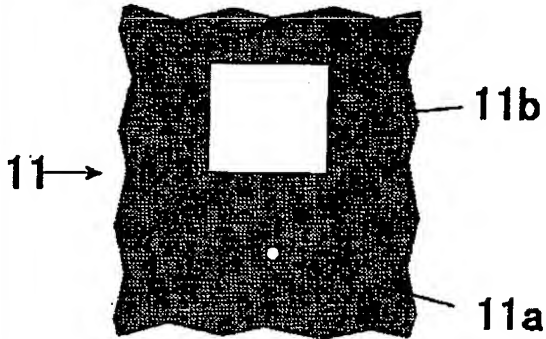
* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

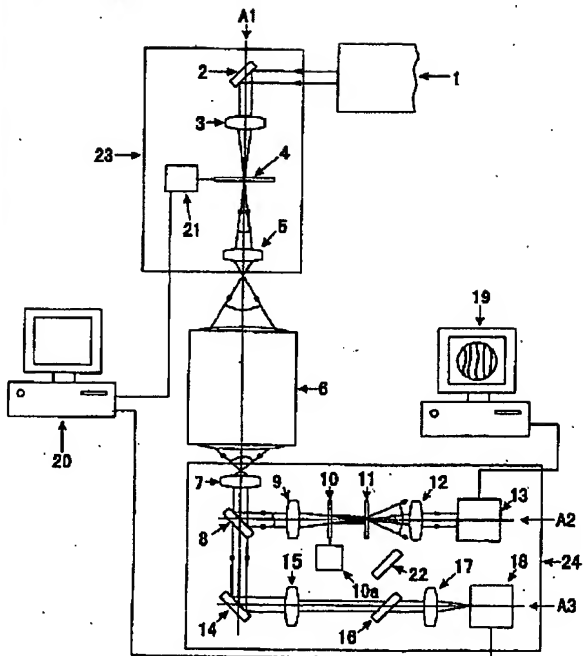
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

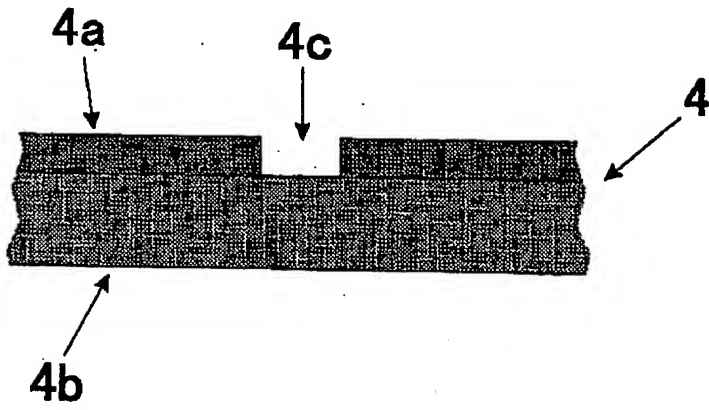
[Drawing 3]



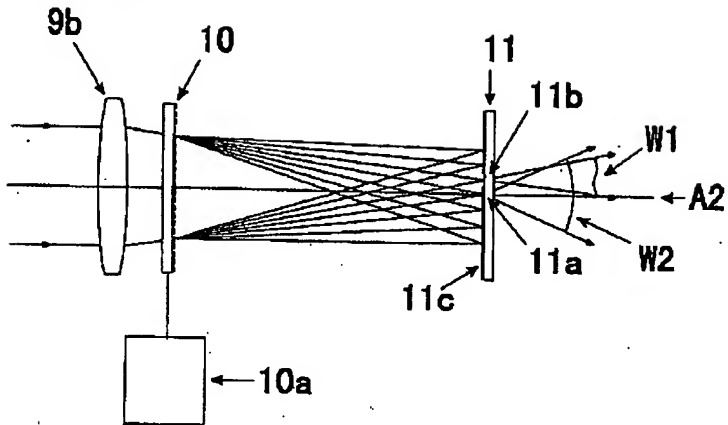
[Drawing 1]



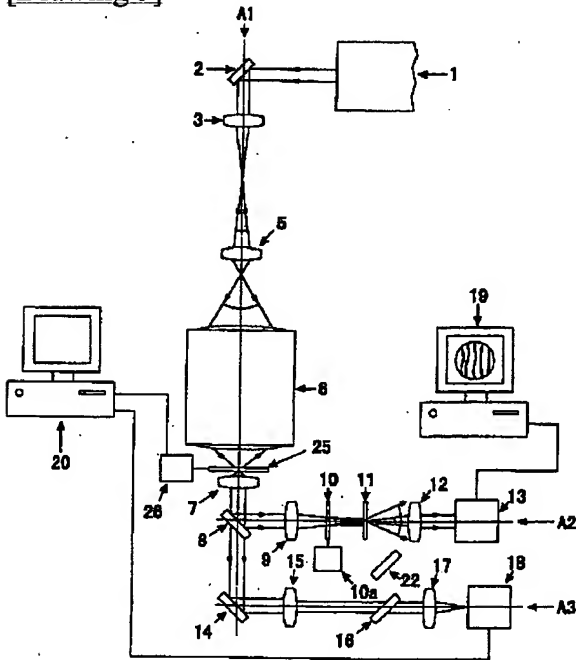
[Drawing 2]



[Drawing 4]

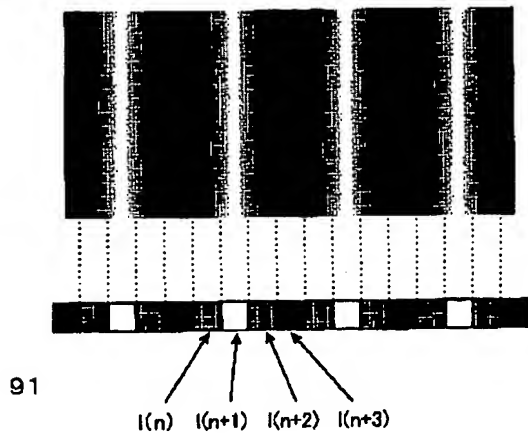


[Drawing 5]

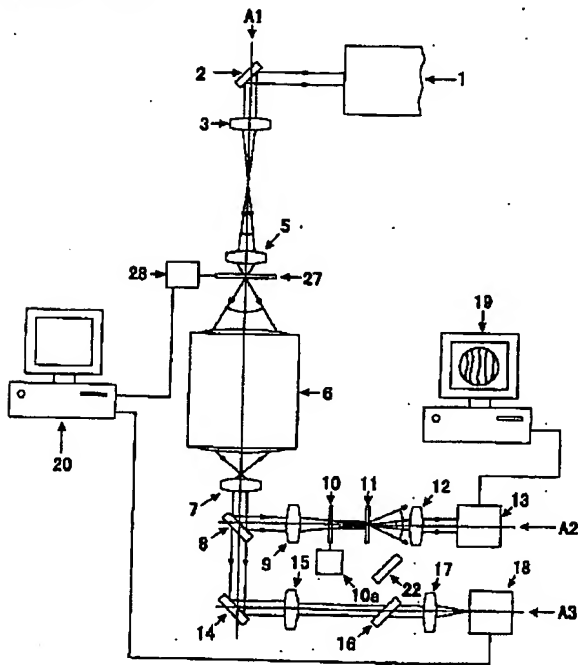


[Drawing 16]

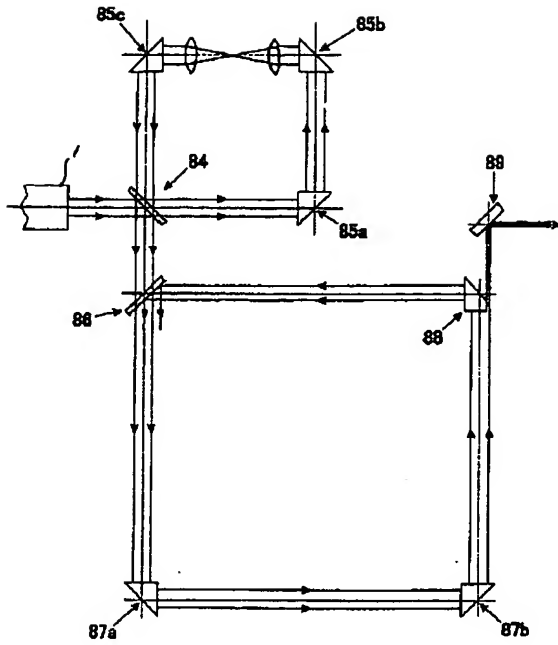
90



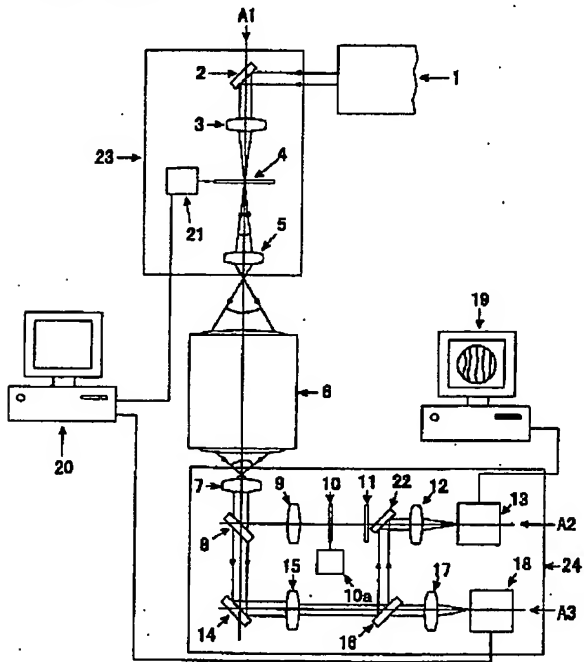
[Drawing 6]



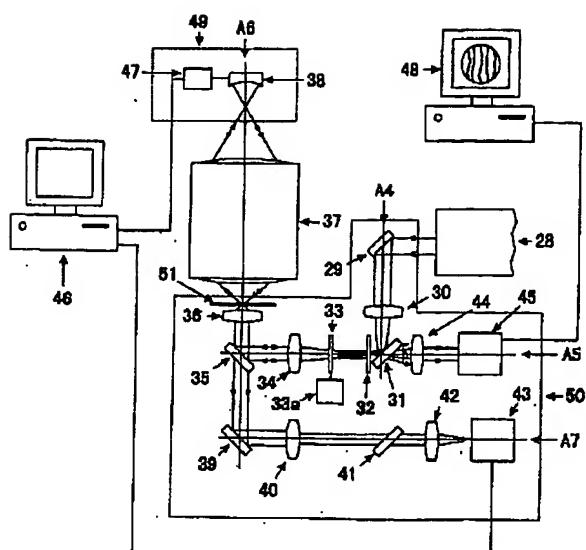
[Drawing 7]



[Drawing 9]

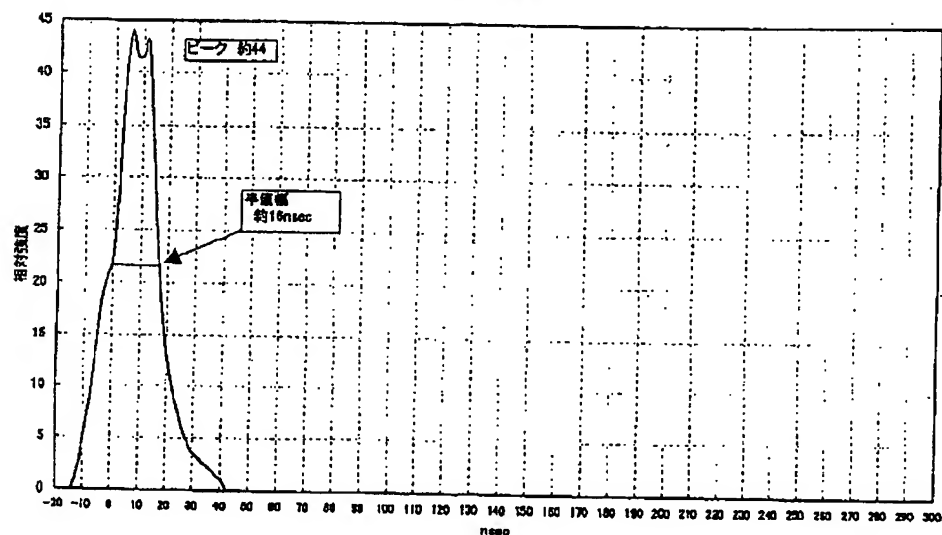


[Drawing 10]

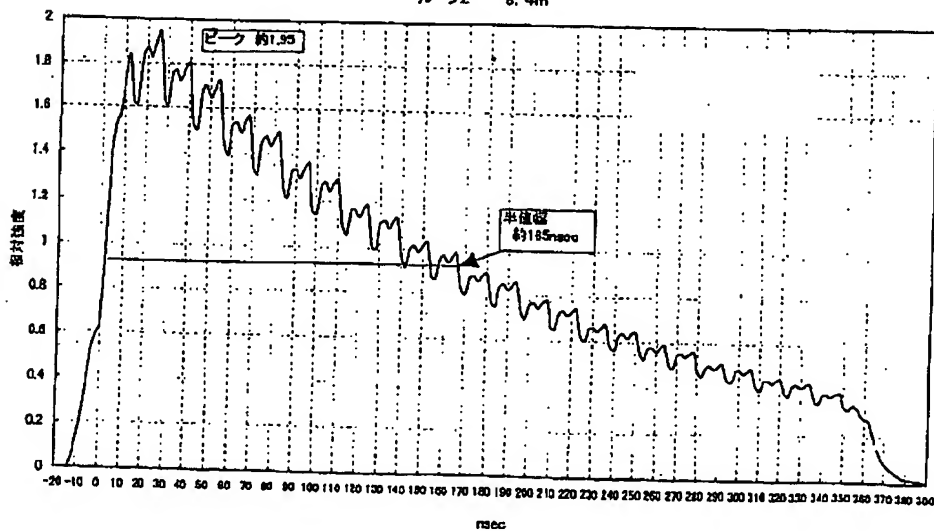


[Drawing 8]

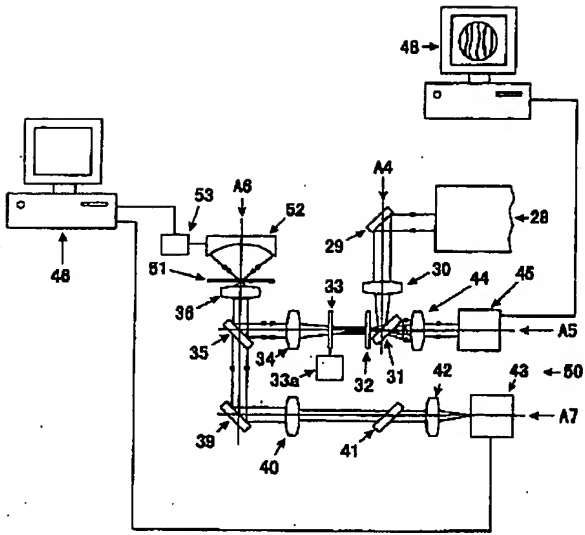
元パルス波形



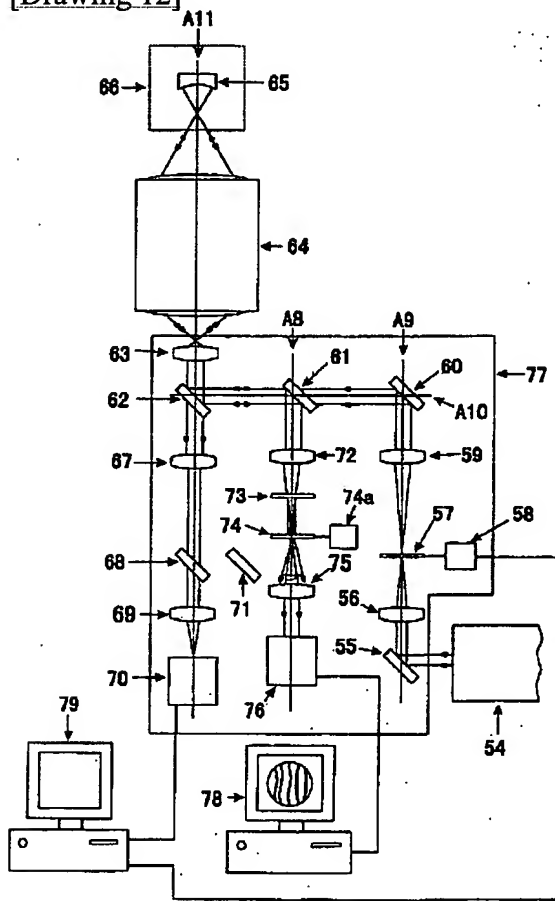
ループ1 -- 4.2m
ループ2 -- 5.4m



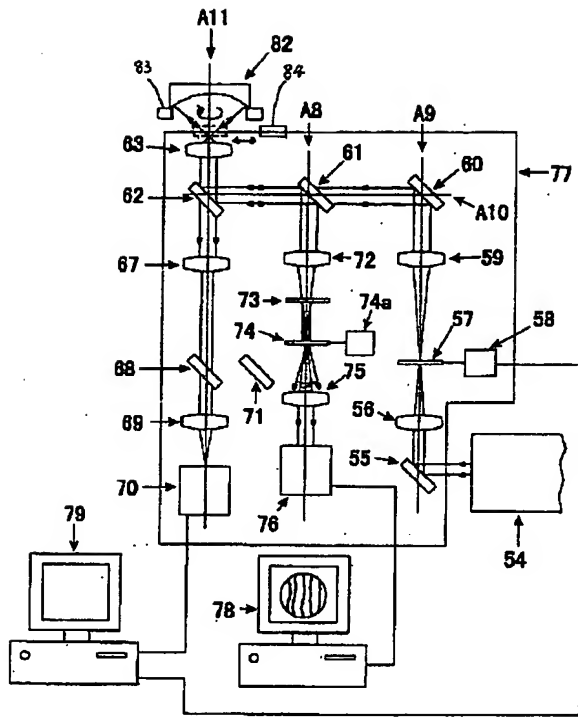
[Drawing 11]



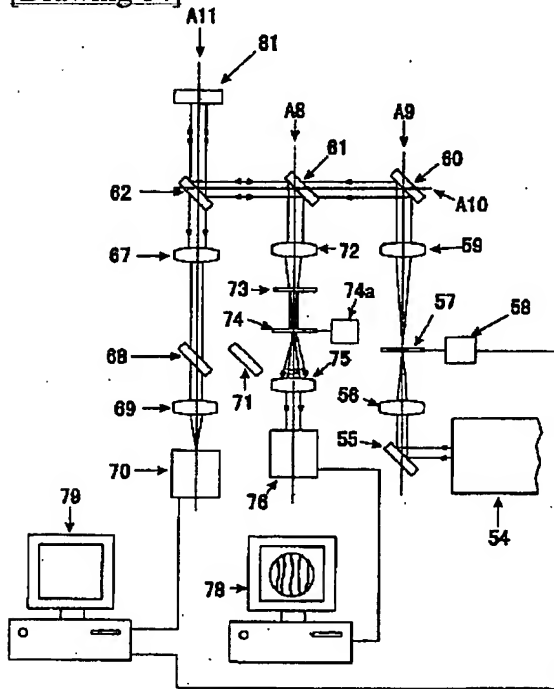
[Drawing 12]



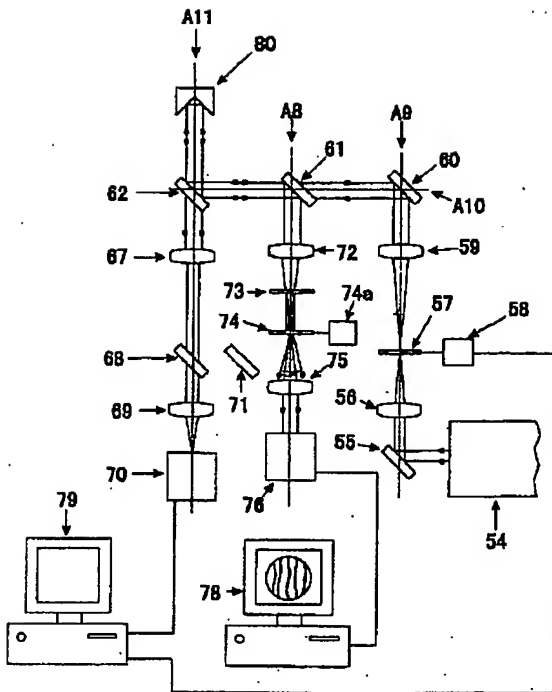
[Drawing 13]



[Drawing 14]



[Drawing 15]



[Translation done.]